Zur

ZODIACALLICHTFRAGE.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

der K. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Karl Schwend.

München 1904.

Druck der Akademischen Buchdruckerei von F. Straub.

Zur

ZODIACALLICHTFRAGE.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

der K. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Karl Schwend.

München 1904.

Druck der Akademischen Buchdruckerei von F. Straub.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552302_0148

Einleitung.

Nachdem im Laufe der letzten Jahrzehnte auf die Resultate der Meteorastronomie gestützt sich die Ansicht immer mehr Geltung verschafft hatte, dass der Raum zwischen den Planeten durchaus nicht so leer sei, wie man früher geglaubt hatte, nachdem dann vollends durch photometrische Untersuchung und Beobachtung die Ringe des Saturn sich in einen Schwarm kleiner Körper aufgelöst hatten, lag es nicht mehr so fern, auch anderswo nach solchen „kosmischen Staubwolken" zu suchen und im Zodiakallicht mit mehr Vertrauen als früher die Erscheinung einer solchen zu sehen. Die Grundgesetze der Photometrie, die sich nunmehr einen ständigen Platz in astronomischer Forschung erobert hatten, waren hinlänglich bekannt und ihrer hypothetischen Natur wegen nach allen Seiten diskutiert, Beobachtungen waren ja schon seit 2 Jahrhunderten gemacht worden: so sind scheinbar alle Grundlagen für eine Vergleichung zwischen Theorie und Beobachtung geschaffen. Aber leider fehlt das eine, das Wichtigste, die Grösse, die mit der Theorie verglichen werden soll, die Flächenhelligkeit, dargestellt als Funktion des Ortes am Himmel. Es erscheint somit notwendig in den bisherigen Beobachtungen nach Eigenschaften der Helligkeitsverteilung zu suchen, die sich irgendwie für die Theorie verwenden lassen, oder die eine Theorie unter gewissen plausiblen Annahmen erklären kann. Dazu ist aber vor allem eine genaue Beschreibung des Zodiakallichtes erforderlich. Somit gliedert sich unser Stoff ganz von selbst in folgende 3 Abschnitte

I. Die Beobachtungen.
II. Die Theorie.
III. Die Helligkeitsverteilung unter Annahme von (3) bestimmten Phasenkurven.

I.

Die Beobachtungen.

Wenn man von den mehr oder weniger zweifelhaften Schilderungen des Zodiakallichtes, wie man sie im Altertum und bis in die Neuzeit findet, absieht, so muss man als die erste sichere, weil sehr charakteristische, Beschreibung die von J. Childrey[1]) (erst Schullehrer in Kent, zuletzt Pfarrer in Upway) ansehen. Er schreibt, dass er in den Monaten Januar, Februar, März in jeder klaren Nacht, wenn das Zwielicht fast schon verschwunden,[2]) ein Dämmerlicht sich bis gegen die Plejaden erstrecken[3]) sehe.

Ohne Frage haben schon Unzählige vor ihm und nach ihm diese Erscheinung in gleicher Weise beobachtet. So lange freilich niemand mehr sah, musste es reine Zeitverschwendung scheinen, die angebliche Dämmerungserscheinung weiter zu verfolgen. Dass niemand der Beobachtung derselben sich zuwandte, lag also wohl weniger an mangelnder Lust und Ausdauer, als vielmehr an mangelndem Forscherblick. Diesen Forscherblick besass aber Giovanni Domenico Cassini.[4]) Indem er als das Wesentliche die Lage im Zodiacus[5]) erkannte, rückte er die Erscheinung in ein vollständig neues Licht, die Beziehung zur Ekliptik, der in unserem Sonnensystem so bevorzugten Ebene, wurde der Angelpunkt jeglicher Erklärung. Nun verdiente die Erscheinung wohl

---

[1]) Britannia Baconica (Beschreibung der Britischen Inseln) 1661, p. 183, cf. Anhang Nr. 1.

[2]) Searle, Researches, p. 165/166: „after evening twilight, or even before twilight has wholly ended."

[3]) Cassini, Découverte p. 4: „Selon sa longueur s'étendoit sur les Plejades."

[4]) Die erste öffentliche Mitteilung im Journal des Sçavans du 10. Juin 1683: Nouveau Phenoméne rare & singulier d'une Lumiere Celeste, qui a paru au commencement du Printemps (18. März) de cette année 1683. Sein Hauptwerk: **Découverte** de la Lumiere Celeste qui paroist dans le Zodiaque, Paris 1685, erschienen in dem Recueil d'observations faites en plusieurs voyages par ordre de sa majesté pour perfectionner l'astronomie et la géographie, Paris 1693.

[5]) Découverte p. 4: „elle s'étendoit obliquement à peu près selon le Zodiaque."

die Mühe einer jahrelangen anstrengenden Beobachtung, die denn auch Cassini nicht scheute. Wir dürfen also mit Recht Cassini den Entdecker des Zodiakallichtes nennen.

Hätte Childrey diese Haupteigenschaft des Zodiakallichtes erkannt, er hätte sich sofort sagen müssen, dass wegen der schiefen Lage der Ekliptik zum Horizont das nur bis auf eine gewisse Entfernung von der Sonne (nach Cassini 2 bis $2^1/_2$ Zeichen, also 60° bis 75°) sichtbare Zodiakallicht zu anderen Jahreszeiten, als im Frühling, wohl kaum für einen ungeübten Beobachter sichtbar sein konnte, in der Tat eine der ersten Folgerungen, die Cassini[1]) zog. Denn je kleiner die Neigung der Ekliptik gegen den Horizont wird, ein um so grösseres Stück des Zodiakallichtes bleibt in der Dämmerung verborgen (die ausserdem noch in der Zeit vom Frühling zum Sommer zunimmt, während die Neigung zur Ekliptik abnimmt), ein um so kleineres wird also darüber hinausragen, ganz abgesehen von der immer mehr dezimierenden Wirkung der atmosphärischen Absorption. Da das Zodiakallicht, wie Cassini gleich bemerkte, der Sonne in ihrer Bewegung auf der Ekliptik vorausgeht, so muss es offenbar auch an den Stellen sich zeigen, wo die Ekliptik die Milchstrasse kreuzt. In diesen beiden Lagen zwischen Gemini und Taurus einerseits, zwischen Sagittarius und Scorpio andererseits, sind natürlich die beiden Erscheinungen nur sehr schwer von einander zu trennen. Dazu noch die verschiedene Dauer der Dämmerung in den einzelnen Jahreszeiten. So kommt es, dass für ein ungeübtes Auge das Zodiakallicht etwa von Anfang Dezember bis Anfang Mai (nach Cassini[2]) in den Monaten Februar, März, April, Mai) sichtbar ist, am besten nach Heis[3]) Anfang April. Für ein geübtes Auge dagegen, das es von Tag zu Tag verfolgt, ist es nach dem Urteil aller kompetenten Beobachter[4]) jederzeit sichtbar, wenn nicht

---

[1]) Découverte p. 5/6.

[2]) Découverte p. 18/19.

[3]) **Zodiacallichtbeobachtungen** in den letzten 29 Jahren 1847—1875 (I. Veröffentlichung der Königl. Sternwarte zu Münster), Köln 1875, p. IV.

[4]) Heis, Zodiacallichtbeobachtungen, p. IV (Weber).

A. Searle, **Researches** on the zodiacal light, p. 183/184, erschienen in den Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College, Vol. XIX. — Part. II, Cambridge 1893.

Wolken oder der Mond die Beobachtung unmöglich machen; aber auch in diesem Fall gelingen, nach der Erfahrung von Herrn Searle,[1]) noch Beobachtungen, wenn nur, was freilich für den Astronomen kaum möglich, der Beobachter jeden günstigen Moment ausnützen kann.

Die Figur des Zodiakallichtes charakterisieren ohne weiteres die beiden üblichen Bezeichnungen, Zodiakalpyramide und Zodiakalkegel, von denen die letztere insofern besonders treffend erscheinen mag, als ein entsprechend beleuchteter Kegel mit abgerundeter Spitze im allgemeinen eine ähnliche Helligkeitsverteilung zeigt. Die früheren Beobachter haben insgesamt fast nur der Figur ihre Aufmerksamkeit zugewandt und deshalb möglichst getreu ihre Grenze entweder in Sternkarten aufgezeichnet oder beliebige Punkte von ihr durch Beschreibung festgestellt. Man dachte sich nämlich, so z. B. Cassini und Jones, das Zodiakallicht als eine leuchtende Scheibe, dann war aber ihre Perspektive von grösster Wichtigkeit; auf Helligkeitsschätzungen legte man noch keinen Wert.

Ob die Helligkeitsverteilung eine gleichmässig abnehmende ist oder nicht, darüber sprechen sich die früheren Beobachter nicht besonders aus, woraus man vielleicht mit einigem Recht schliessen darf, dass sie ihnen im allgemeinen gleichmässig abnehmend erschienen ist. So sagt z. B. Cassini[2]) nur, das Zodiakallicht sei heller und leuchtender in der Mitte und lichtschwächer gegen die Enden zu. Mairan[3]) scheint der erste gewesen zu sein, der jenseits der Grenze noch einen das Zodiakallicht begrenzenden Schimmer bemerkt hat. Später machten Weber[4]) in Peckeloh, Brorsen[5]) in Senftenberg, Eylert[5]) in den Tropen, Neumayer[5]) in Melborne die gleiche Beobachtung. Jones[6]) dagegen unterscheidet im Ganzen nicht weniger als 4 Abstufungen der Hellig-

[1]) Researches p. 183, 184.

[2]) Découverte p. 3: „plus claire et plus éclatante dans le milieu et plus foible vers les extremitéz."

[3]) Traité Physique et Historique de l'Aurore, Boréale 1754, p. 36.

[4]) Wochenschrift für Astronomie, Meteorologie und Geographie.

[5]) Heis, Zodiacallichtbeobachtungen, p. V.

[6]) United States Japan Expedition, Vol. III, Washington 1856: Observations on the Zodiacal Light from April 2, 1853 to April 22, 1855 by Rev. George Jones, A. M., Chaplain United States Navy, p. XI.

keit, nach dem Helligkeitsgrad geordnet: effulgent light, stronger light, diffuse light, paled sky, von denen jede folgende die vorhergehende einhüllt. Von diesen hat nach seiner Ansicht Cassini nur das stronger light gesehen und das wird wohl auch bei den anderen Beobachtern des nördlichen Europa der Fall sein. Was aber Weber, Brorsen, Eylert, Neumayer und in neuerer Zeit wieder die Herren Searle[1]) und Marchand[2]) sahen, dürfte dann wohl das diffuse light sein. Nahe am Horizont innerhalb des stronger light erwähnt Jones[3]) noch einen auffallenden Glanz, der aber meist unmerklich in das stronger light übergeht. Dieses effulgent light, wie er es nennt, ist zwar auch in unserem nördlichen Europa zu sehen möglich, vielleicht aber deshalb nicht besonders erwähnt worden, weil eben der Übergang zum stronger light als ein fast völlig gleichmässig abnehmender angesehen werden muss. Endlich sieht er noch, wenn auch verhältnismässig selten, um das diffuse light den Himmel abgeblasst: paled sky. Die Elongation[4]) (Entfernung von der Sonne gemessen in der Ekliptik) für die Spitze des stronger light gibt er im Mittel zu 60°, die für die Spitze des diffuse light zu 90° an.

Wenn nun auch die Beobachter des nördlichen Europa alle diese Grenzen, welche die Helligkeitsschichten voneinander trennen, nicht wahrnehmen konnten, eine jedenfalls vermochten alle Beobachter zu ziehen, diejenige nämlich, die anscheinend die Figur begrenzte. Da viel darüber gestritten worden ist, namentlich angesichts der Zeichnungen des Zodiakallichtes, ob eine Grenze überhaupt existiert, so wird es nötig sein, sich hierüber besonders auszusprechen. Dass eine Grenze in dem Sinne existiert, wie es das Wort ausspricht, also dass man sagen kann, diesseits der Grenze ist Licht, jenseits aber nicht — ein Fall, der streng genommen in der Natur überhaupt nicht vorkommt — ist wohl von keinem Beobachter behauptet worden, nur das Wort Grenze hat, wie es scheint, den Widerspruch hervorgerufen. Die Bedeutung

---

[1]) Researches p. 188.

[2]) Comptes rendus CXXI, p. 1134 (1895).

[3]) Observations p. XV: „a striking brilliancy thence fading upward, mostly by imperceptible degrees."

[4]) Observations p. XXXI.

des Wortes, wie es hier gebraucht wird, hat wohl niemand besser und klarer dargelegt als J. F. Julius Schmidt,[1]) der sagt: „Was aber unter dem Rande des Zodiakallichtes zu verstehen sei, hat bei einer so lichtschwachen, oft höchst unbestimmten Erscheinung jeder Beobachter für sich auszumachen. Der jedesmalige Zustand der Luft ist von grossem Einflusse, und nicht weniger die ungleiche Stärke der Augen. Der anderweitig geübte Beobachter wird stets eine Gränze auffassen können, die zwar zu beiden Seiten nicht die äusserste ist, aber in Hinsicht eines allgemein mit einiger Sicherheit zu verfolgenden Zuges zwischen den Sternen für die Verzeichnung einen Sinn hat.“ Welchen Eigenschaften der Lichtkurve die Grenze ihre Entstehung im Auge verdankt, ist bis jetzt noch nicht festgestellt. Aber die Versuche von Herrn Professor Seeliger[2]) haben gezeigt, dass jedenfalls der zweite Differentialquotient dabei eine Rolle spielt. Darnach ist es auch wohl begreiflich, dass die Grenzen nicht gerade Isophoten zu sein brauchen. Von Interesse ist hier vielleicht die Bemerkung von Herrn Maunder,[3]) dass im Zodiakallicht wie in der Milchstrasse dunkle Linien und Spalten (dark lanes and rifts) zu sehen seien. Darnach wäre es wohl möglich, wenn auch nicht gerade wahrscheinlich, dass einige der Grenzen diesen ihre Entstehung verdanken.

Beim jetzigen Standpunkt der Forschung von ziemlich untergeordneter Bedeutung ist die Frage nach der Farbe des Zodiakallichtes. Von Cassini[4]) wurde sie gleich der der Kometen befunden. Deutlicher drückt sich Jones[5]) aus, indem er dem warmen gelblichen Ton des Zodiakallichtes den kalten weissen der Milchstrasse gegenüberstellt. Bemerkenswert ist auch die

---

[1]) **Das Zodiacallicht**, Übersicht der seitherigen Forschungen nebst neuen Beobachtungen über diese Erscheinung in den Jahren 1843 bis 1855, Braunschweig 1856, p. 23.

[2]) Abhandlungen der K. Bayer. Akademie der Wiss., II. Kl., XIX. Bd., II. Abt., München 1896: Die scheinbare Vergrösserung des Erdschattens bei Mondfinsternissen, p. 13—16.

[3]) **Monthly Notices** of the Royal Astronomical Society, Vol. 58, Nr. 5, March 1898: Note on the Zodiacal Light by E. Walter Maunder.

[4]) Découverte p. 4.

[5]) Observations p. IV.

Aussage von Herrn Douglass,[1]) dass das Zodiakallicht schneller eine Wirkung auf der photographischen Platte hervorruft, als die gleich hellen Teile der Milchstrasse. Heis[2]) nennt unter den Farben rötlichweiss, rötlich, gelblichrot, gelblich, orange, mattgelb, lichtgelb, am häufigsten gelblich. Schmidt[3]) endlich meint, dass das Wechseln der Farbe zwischen weissgrau, weiss, gelblich und selbst rötlich wahrscheinlich durch Zustände unserer Atmosphäre bedingt sei.

Alle Beobachter stimmten darin überein, dass das Spektrum des Zodiakallichtes ein kontinuierliches sei, das sich etwa von D bis G erstrecke. Dagegen konnten viele die von einigen Beobachtern gesehene sog. grüne Nordlichtlinie nicht entdecken. Man vermutet daher, dass diese nicht dem Spektrum des Zodiakallichtes, sondern dem eines gleichzeitig stattfindenden Nordlichtes angehört, das, wenn auch schwach auftretend, am ganzen Himmel im Spektroskop sich eben durch diese Linie kundgibt. Von den neueren Beobachtungen sind nun besonders die von Herrn M. Hall[4]) auf Jamaika angestellten zu nennen. Er fand, dass in grösseren Elongationen von der Sonne, wo das Zodiakallicht verhältnismässig schwach ist, das Spektrum plötzlich im Gelb bei $\lambda = 561\ \mu\mu$ begann, wo es auch die grösste Helligkeit besass und bei G im Violett sich verlor. In geringeren Elongationen dagegen war die Grenze im Gelb nicht mehr so scharf ausgeprägt, sondern etwas verwaschen, das Helligkeitsmaximum hatte sich etwa bis $\lambda = 417\ \mu\mu$ verschoben. Nun besitzt zwar die Alkoholflamme ähnliche Eigenschaften in den Teilen, wo sich neben der blauen eine schwach gelbliche Färbung geltend macht: wenn man die Helligkeit des Spektrums genügend schwächt, so rufen die Banden dieses Spektrums nahe dieselben Erscheinungen hervor. Herr Ebert[5]) bemerkt nun hiezu, dass in unserem Falle zwei weitere Momente eine Rolle spielen: 1) die

[1]) Popular Astronomy VIII, 174 und IX, 190 (Photographs of the Zodiacal Light).

[2]) Zodiacallichtbeobachtungen: Die einzelnen Beobachtungsberichte.

[3]) Das Zodiacallicht p. 15.

[4]) The Observatory 1890, Nr. 159, p. 77. Wir folgen hier vollständig der Darstellung von Herrn Ebert.

[5]) Wiedemanns Annalen der Physik und Chemie, Bd. 41, 1890, p. 339.

verschiedene Empfindlichkeit der Augen für die Strahlen der verschiedenen Wellenlängen, 2) die selektive Absorption der Atmosphäre. Unter Annahme der von ihm nach Beobachtungen gezeichneten Reizschwellenkurve (Abscisse = Wellenlänge, Ordinate = zur Wahrnehmung nötige Energie) und eines Absorptionsstreifens im Gelb findet er, dass für verschiedene Helligkeiten die Grenze des sichtbaren Spektrums im Gelb an derselben Stelle bleibt, da die Reizschwellenkurve am sichtbaren Ende innerhalb des Absorptionsstreifens verlauft, ferner dass vermöge der Gestalt der Reizschwellenkurve und der Helligkeitskurven, welche die jeweilige Helligkeit angeben, das Helligkeitsmaximum sich relativ (zu den Enden) und absolut verschiebt, was sich in noch höherem Grade bemerklich machen wird, wenn die Absorption verschieden stark ist, da sich ja die Absorption bei geringerer Helligkeit verhältnismässig grösser zeigt als bei grösserer Helligkeit, so dass schliesslich die absorptionslosen Stellen die hellsten werden. Die spektroskopische Untersuchung des Dämmerlichtes durch Herrn Ebert zeigte nun tatsächlich diese Erscheinungen, die demnach dem Dämmerlicht bezw. der Erdatmosphäre angehören. Mithin wäre das eigentliche Spektrum des Zodiakallichtes ein kontinuierliches.

Bekanntlich wird das vom Mond reflektierte Sonnenlicht polarisiert, doch hängt der Grad der Polarisation[1]) von der Phase ab. Nach Secchi[2]) und anderen zeigt der Vollmond keine Polarisation, sondern erst der zunehmende Mond und zwar soll sie ihr Maximum erst im ersten und letzten Viertel erreichen. Dabei zeigen die Mondgebirge keine, die maria sehr starke Polarisation. Diese Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit fand auch Herr H. Wright[3]) bei seinen Versuchen mit terrestrischen Substanzen. Allem nach scheint Polarisation erst dann auftreten zu können, wenn die kleinsten Teilchen der Oberfläche kleiner sind als

[1]) Wir folgen hier der Darstellung von Herrn Prof. Seeliger in seinem Aufsatz: „The nebulae in the Vicinity of Nova Persei“ in The Astrophysical Journal, Vol. XVI, p. 193 (1902).

[2]) A. N. 52, p. 93 (1860).

[3]) Die diffuse Reflexion des Lichtes an matten Oberflächen, 1899 (Dissertation). Annalen der Physik, I, p. 17 (1900).

die Wellenlängen des Lichts, in der Tat zeigen ja sog. trübe Medien (blauer Himmel) nicht unbedeutende Polarisation. Eine gewisse Unregelmässigkeit scheint dagegen die Polarisation nicht zuzulassen. Nimmt man nun an, dass das Zodiakallicht ebenfalls reflektiertes Sonnenlicht ist und zwar reflektiert von kleinen Körpern, die also sicher keine Atmosphäre haben, wie der Mond, so wird man hier ähnliche Polarisationserscheinungen erwarten können. Herr A. W. Wright[1]) hat auch gefunden, dass das Zodiakallicht polarisiert ist in einer Ebene, die durch die Sonne geht, die Grösse der Polarisation setzt er zu 15° bis 20% an.

Von geradezu entscheidender Bedeutung für die Auslese der Hypothesen ist dagegen die Frage nach der Durchsichtigkeit des Zodiakallichtes in Bezug auf das Licht eines Fixsternes. Nehmen wir zuerst die von Cassini[2]) mitgeteilte Hypothese von Fatio de Duillier, auf die neuerdings Herr Prof. Seeliger[3]) wieder aufmerksam gemacht hat. Nach ihr ist das Zodiakallicht Sonnenlicht, reflektiert von einer ungefähr in der Ekliptik liegenden scheibenförmigen kosmischen Staubwolke, deren Zentrum die Sonne ist. Dann wird aber das Licht eines Fixsternes um so stärker geschwächt, je kleiner seine Elongation von der Sonne wird, erstens weil der vom Lichtstrahl innerhalb des Zodiakalschwarmes durchlaufene Weg immer grösser wird, zweitens auch, wenn man annimmt, dass die Dichtigkeit des Schwarmes gegen die Sonne zunimmt, weil er durch immer dichtere Partieen führt. Ein in der Ekliptik befindlicher, hinter der Sonne stehender Stern (Elongation 0°), wird also im einen Halbjahr mit zunehmender westlicher Elongation von der Sonne an Helligkeit zunehmen, am Schluss des Halbjahres (Elongation 180°) ein Maximum erreichen, im andern Halbjahr dann mit abnehmender östlicher Elongation an Helligkeit abnehmen müssen. Am Schlusse dieses Halbjahres (Stellung Anfang des vorigen Halbjahres, Elongation 0°) würde er, wenn man ihn hinter der Sonne beobachten könnte, ein Minimum an Helligkeit erreichen. Leider existieren bis jetzt noch keinerlei

[1]) The American Journal, VIII, p. 39 (1874).

[2]) Découverte p. 28, cf. Anhang Nr. 16.

[3]) Über allgemeine Probleme der Mechanik des Himmels, 1892, p. 12.

Beobachtungen hierüber. Nehmen wir aber die Hypothese von Jones,[1]) der das Zentrum nicht in die Sonne, sondern in die Erde verlegt, so sehen wir ohne weiteres, dass die Schwächung des Fixsternlichtes immer dieselbe ist, unabhängig von der Elongation des Fixsternes von der Sonne, unabhängig vom Dichtegesetz der Staubwolke, so lange die Dichte nur eine Funktion der Entfernung von der Erde ist.

Da Cassini glaubte, das Zodiakallicht liege ungefähr in der Ebene des Sonnenäquators, wodurch er die Sichtbarkeitsverhältnisse zu erklären suchte,[2]) brachte er dasselbe in Beziehung[3]) zu den Sonnenflecken und Sonnenfackeln, deren Veränderlichkeit er kannte. Es war deshalb erklärlich, dass er auch auf etwaige Veränderungen des Zodiakallichtes ganz besonders sein Augenmerk richtete. Dazu mussten aber vor allem die Veränderungen studiert werden, die durch die Beschaffenheit der Augen, durch die Lage unseres Standpunktes und durch terrestrische Verhältnisse bedingt sind.

Zu allererst das Grundübel, das wir leider nicht eliminieren können, die Änderungen der Lichtempfindlichkeit unserer Augen, innerhalb weniger Sekunden oder Minuten im Zustande der Erregung, während eines Abends — einesteils wird das Auge durch das Ausruhen in der Dunkelheit gestärkt, andernteils durch das Beobachten wieder geschwächt — endlich innerhalb grösserer Zeiträume. So könnte z. B. die Wahrnehmung Cassinis, der ganz allgemein von den verschiedenen Zuständen des Auges[4]) spricht, von Veränderungen der Helligkeit innerhalb ganzer Jahre,[5]) leicht in Veränderungen der Lichtempfindlichkeit seiner Augen ihre Erklärung finden, vollends wenn man bedenkt, dass diese Beobachtung ziemlich vereinzelt dasteht. Er selbst vermutet einen Zusammenhang mit den Sonnenflecken, wie auch andere nach ihm.

---

[1]) Observations p. XXVI.

[2]) Découverte p. 7, Memoires de l'Acad. Roy. des Sciences, tome VIII. p. 127.

[3]) Découverte p. 18.

[4]) Découverte p. 32: „les divers degrez de la disposition des yeux."

[5]) Découverte p. 68.

Cassini[1]) führt nun zwei weitere Fehlerquellen an: die Nachbarschaft von einzelnen Sternen oder von ganzen Sternbildern, deren Licht mit dem des Zodiakallichtes sich vermischt. Auf diese Weise wäre auch ungezwungen das lange Stehenbleiben der Spitze des Zodiakallichtes bei den Plejaden zu erklären — Childrey hat diese Eigentümlichkeit, wie oben erwähnt, schon gekannt — wenn nicht dem die Beobachtung von Brorsen[2]) entgegenstünde, nach der dies nicht nur kurze Zeit dauerte, sondern vielmehr von Anfang Dezember bis in den März und April hinein. Während dieser 4 oder 5 Monate müsste aber die Spitze sich um 120° oder 150° weiter bewegt haben. Man wird also wohl die obige Erklärung fallen lassen müssen und entweder annehmen, dass die Elongation der Spitze von der Sonne sich während dieser Zeit um den gegebenen Betrag geändert hat oder dass das Ende des Zodiakalkegels gar nicht dem Zodiakalkegel angehört, sondern eines jener Sternbänder ist, auf die Herr Searle zuerst aufmerksam gemacht hat. Auch schwaches Mondlicht und Planetenlicht kann die Erscheinung dezimieren, zum mindesten die Ränder überglänzen. Die andere anscheinend geringere, aber um so unangenehmere Fehlerquelle ist die Verschiedenheit der Helligkeit des Himmelsgrundes,[3]) herrührend wahrscheinlich von der mehr oder weniger grossen Anzahl kleiner teleskopischer Sterne oder Nebel.

Endlich führt Cassini[4]) noch die Einflüsse unserer Atmosphäre an: Nebel und kleine Wolken, verschiedene Durchsichtigkeit der Luft, verschiedene Dauer der Dämmerung. Cassini[5]) selbst sah schon in der schärferen Begrenzung des südlichen Randes des Zodiakallichtes eine Folge der zunehmenden atmosphärischen

---

[1]) Découverte p. 61.

[2]) Wöchentliche **Unterhaltungen** für Dilettanten und Freunde der Astronomie, Geographie und Meteorologie, 1854, Nr. 5, Korrespondenznachrichten p. 38.

[3]) Découverte p. 61: „la différente clarté de diverses parties du ciel parsemeés d'étoiles imperceptibles qui sont en plus grand nombre en un endroit qu'en un autre."

[4]) Découverte p. 61.

[5]) Découverte p. 65.

Absorption. Dieselbe Erscheinung findet auch Herr Douglass[1]) bei seinen photographischen Aufnahmen.

Nachdem wir nun die leitenden Gesichtspunkte der früheren Beobachter klargelegt haben, können wir zu den Erscheinungen übergehen, über deren Ursachen die Meinungen heute noch geteilt sind.

Vor allem sind es die zuerst von Jones[2]) beobachteten Pulsationen — auf eine ähnliche von Cassini[3]) aber nur einmal beobachtete Erscheinung verweist er dabei ebenfalls — die er charakterisiert als An- und Abschwellen der Helligkeit des Zodiakalkegels unter gleichzeitiger Ausdehnung resp. Zusammenziehung. Jones selbst gibt keine definitive Erklärung. A. v. Humboldt[4]) stellt die Frage, ob nicht „in den obersten Luftschichten Verdichtungen vorgingen, welche die Durchsichtigkeit oder vielmehr die Lichtreflexion auf eine eigentümliche uns unbekannte Weise modifizierten?“ Heis[5]) und Schmidt[6]) schreiben die Veränderungen in der Helligkeit ebenfalls meteorologischen Einflüssen zu. Das Beobachtungsmaterial von Jones ist dann von Serpieri[7]) noch einmal untersucht und geordnet worden. Die Frage der Realität ist aber, man kann fast sagen, entschieden, seit Herr Lewis[8]) mit allen Vorsichtsmassregeln spezielle Beobachtungen hierüber angestellt und dabei die Beobachtung von Heis bestätigt gefunden, dass nämlich Helligkeitswechsel im Zodiakallicht immer gleichzeitig stattfinden mit solchen in der Milchstrasse. Herr Lewis glaubt, dass eine Veränderung der Durchsichtigkeit der

---

[1]) Popular Astronomy VIII, 174: Photographs of the Zodiacal Light.

[2]) Observations p. XIII, cf. Anhang Nr. 2.

[3]) Beobachtung vom 15. Oktober 1687, cf. Anhang Nr. 3 (nach Jones zitiert!)

[4]) Kosmos, Entwurf einer physischen Weltbeschreibung, 1845, I, 147.

[5]) Zodiacallichtbeobachtungen p. III.

[6]) Das Zodiacallicht p. 15.

[7]) **Memorie** della società degli spettroscopisti italiani, VI, Appendice 1877, 61: Guida per gli osservatori della Luce zodiacale in confirmità dei nuovi fatti svelati delle osservazioni di G. Jones, ebenso 1876 La Luce zodiacale studiata nelle osservazioni di G. Jones 49.

[8]) Memorie IX 1880, 143. Ein kurzer Abriss in The American Journal of Science and Arts, 1880, 437.

Atmosphäre oder des Urteils beide Erscheinungen in gleicher Weise affiziert. Demgegenüber macht Herr Geelmuyden[1]) geltend, dass die Wirkung wohl dieselbe sei auf die Helligkeit, aber nicht auf die Ausdehnung, da die Grenzen des Zodiakallichtes und der Milchstrasse verschiedener Natur seien. Herr Searle[2]) geht in der Vorsichtigkeit noch weiter, indem er auch die Gleichheit der Wirkung auf die Helligkeit in Zweifel zieht. Indessen kann man auch, statt diese Annahmen zu machen, sagen, der Seltenheit der Erscheinung (dass nämlich das Zodiakallicht Pulsationen zeigt, während die Milchstrasse nicht) kommt als Erklärung die Seltenheit stellenweiser Änderung der Luftverhältnisse zu, mögen dieselben nun sein, welche sie wollen.

Wahrscheinlich mit der Dämmerung hängen zusammen die von Jones[3]) beobachteten Variationen. Als Regel stellt er fest, dass Abends das Stronger Light allmählich in dem Diffuse Light versinke, wobei aber dieses an Helligkeit zunehme, dass aber Morgens das Gegenteil stattfinde. Bei starker Neigung der Ekliptik gegen den Horizont waren diese Variationen am grössten. Cassini[4]) scheint dieselbe Wahrnehmung, wenigstens was die Abenderscheinung betrifft, gemacht zu haben und bringt sie auch schon in Beziehung zu der Dämmerung. Dass Jones zuweilen das Diffuse Light vor dem Stronger Light sah, muss nach Herrn Geelmuyden[5]) ebenfalls als Wirkung der Dämmerung angesehen werden. Dass das Zodiakallicht Abends plötzlicher verschwindet, Morgens erst in einer gewissen Höhe sichtbar wird, hält Herr Geelmuyden[6]) für eine Wirkung der zunehmenden atmosphärischen Exstinktion. Wenn nun auch die Beziehung zur Dämmerung bei den Variationen als gesichert gelten könnte, so wäre doch eine genaue Vergleichung der Beobachtungen daraufhin ohne grossen Wert, da nach

---

[1]) **Remarques** sur la théorie de la lumière zodiacale 1881, 61, erschienen in dem Archiv for mathematik and naturvidenskab, Kristiania.

[2]) Researches p. 185.

[3]) Observations p. XII, XV, cf. Anhang Nr. 4.

[4]) Découverte p. 4, 5, cf. Anhang Nr. 5.

[5]) Remarques p. 69.

[6]) Remarques p. 69/70.

der Ansicht von Herrn Geelmuyden,[1]) der man nur zustimmen kann, die Dauer der Dämmerung wahrscheinlich mit der geographischen Breite und mit der Zeit variiert. Heis[2]) bemerkt endlich, wie wir früher schon gesehen, dass er Veränderungen in der Helligkeit und in der Ausdehnung des Zodiakallichtes zwar häufig beobachtet habe, aber dann immer auch gleichzeitig ähnliche Veränderungen in der Milchstrasse. Dieser Ausspruch muss offenbar um so mehr ins Gewicht fallen, als Heis durch seine genaue Kenntnis der Milchstrasse ganz besonders befähigt war, diese Frage zu beantworten. Eine weitere aus den Zeichnungen von Jones sich ergebende Variation ist die Vergrösserung der Breite bei gleichzeitiger Verminderung der Länge und umgekehrt. Aus den von Serpieri[3]) mitgeteilten zwei Tabellen, die er instar omnium nennt, findet aber Herr Geelmuyden,[4]) dass zufällige Fehler — der Beobachtung und der Zeichnung — hier eine Rolle spielen. Über das gänzliche Ausbleiben des Zodiakallichtes ist schon oft in populären Zeitschriften berichtet worden, so lange aber noch keine Beobachtungen von Seiten eines Beobachters vorliegen — die Beobachtung A. v. Humboldts steht ganz vereinzelt da — kann man diese Berichte nur registrieren.

Was die Neigung der Symmetrieaxe des Zodiakallichtes gegen die Ekliptik betrifft, so bemerkte schon Cassini,[5]) dass dieselbe veränderlich war. Sie neigte schon im März von der Ekliptik aus gegen Norden, noch mehr aber im April. Ein gleiches fand statt im September, so dass also die Neigung sich in derselben Weise änderte, wie die Neigung der Venusbahn, wenn sie sichtbar wäre, oder wie die Neigung der die Richtung des Sonnenäquators kennzeichnenden Sonnenfleckenbahnen. Es war dies für ihn ein Hauptgrund, warum er die Zodiakalmasse sich in der Ebene des Sonnenäquators liegend dachte. Bestätigt wurden diese Resultate von Schmidt.[6]) Eine andere Art der

[1]) Remarques p. 81.
[2]) Zodiacallichtbeobachtungen p. III.
[3]) Memorie p. 60 61.
[4]) Remarques p. 73.
[5]) Découverte p. 6, cf. Anhang Nr. 6.
[6]) Das Zodiacallicht p. 62, 66, 67, 69.

Neigungsänderung fand Jones.[1]) Mit der Änderung seiner Stellung (nördlich, südlich) zur Ekliptik änderte sich in demselben Sinne (nördlich, südlich) auch die Neigung des Zodiakallichtes gegen die Ekliptik, so dass er z. B. in einer Nacht, wenn die Erdrotation ihn durch die Ekliptik hindurchführte, den Übergang von der einen Neigung in die andere beobachten konnte. Die Erklärung dieser Erscheinung ist Jones freilich missglückt, erst Herr Geelmuyden[2]) erkannte darin die Wirkung der atmosphärischen Absorption. Herr Searle,[3]) der die meisten und wichtigsten Zodiakallichtbeobachtungen unter einheitliche Form gebracht, warf neuerdings die Frage wieder auf, untersuchte daraufhin die Beobachtungen von Jones und fand eine wenn auch nur geringe Neigung. Dazu bemerkte aber Schönfeld[4]) in seinem Referat mit Recht, dass die Sicherheit des Resultates „wesentlich von der Genauigkeit abhänge, mit der es dem Verf. (Herrn Searle) gelungen sei, die Wirkung der Exstinktion zu bestimmen". In neuerer Zeit fand Herr Marchand[5]) aus seinen eigenen Beobachtungen eine Neigung von 6° bis 7° bei 70° Länge für den aufsteigenden Knoten, ebenso Herr F. J. Bayldon[6]) (Seeoffizier) eine Neigung von 4° bei 0° Länge für den aufsteigenden Knoten. Auch Herr M. Wolf[7]) fand früher aus seinen Photographien, dass die Symmetrieaxe des Zodiakallichtes (die Linie grösster Helligkeit wird wohl nur wenig sich von ihr entfernen) ungefähr in der Ebene des Sonnenäquators liegt, dagegen scheinen seine neueren Beobachtungen[8]) noch keinen Schluss zuzulassen.

Die Frage der Parallaxe, die heute keine besondere Bedeutung mehr besitzt, wurde von Cassini[9]) zwar gestellt, aber

---

[1]) Observations p. XVI, cf. Anhang Nr. 7.

[2]) Remarques p. 83.

[3]) Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences, Vol. XIX, Nr. V (New Series, Vol. XI), Boston 1884: The Zodiacal Light.

[4]) Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft, 1886, Bd. 21, p. 198.

[5]) Comptes rendus CXXI, p. 1134 (1895).

[6]) Publications of the Astronomical Society of the Pacific, XII, p. 13.

[7]) Sitzungsberichte der Münchener Akademie der Wissenschaften 1900: Über die Bestimmung der Lage des Zodiakallichtes und den Gegenschein.

[8]) V. J. S. der Astronomischen Gesellschaft, Jahrgang 38, Heft 2.

[9]) Découverte p. 12.

nicht beantwortet, er hält ihre Bestimmung für unmöglich, weil wegen Unbestimmtheit der Grenzen keine Übereinstimmung zu erzielen sei, ausserdem glaubt er, dass die Entfernung des Zodiakallichtes von der Erde sehr gross sei. Die Versuche von Heis[1]) führten leider zu keinem Resultat, da der in Italien stationierte Beobachter während der korrespondierenden Beobachtungen starb. Herr Searle[2]) endlich schliesst aus den in New England, Kalifornien und Peru gemachten Beobachtungen auf das Nichtvorhandensein einer Parallaxe.

Im Verlaufe unserer Beschreibung ist schon die Rede gewesen von einem morgens sichtbaren Zodiakallicht. Es ist das glänzendste Zeugnis für die Genialität von Fatio,[3]) dass er aus seiner Hypothese heraus das Vorhandensein desselben voraussagte. Eine Beobachtung gelang ihm denn auch im Oktober. Dass diese Erscheinung wenig Beobachter fand, ist nur aus der Zeiteinteilung der Astronomen zu erklären. So war es denn auch kein Astronom, der die ausführlichsten Beobachtungen hierüber machte, sondern ein Laie, der Reverend Jones. Von den neueren Beobachtern hat namentlich Herr Searle die Morgenbeobachtungen berücksichtigt.

Brorsen[4]) nahm im Jahre 1854 in der Gegend des Gegenpunktes der Sonne einen Lichtschimmer wahr, den er wegen dieser Eigenschaft Gegenschein nannte und von dem er schreibt, dass er im Frühling in den Monaten Februar, März, April, während deren er an Helligkeit und Ausdehnung zunehme, im Herbst, kleiner und lichtschwächer, in den Monaten September, Oktober, November sich zeige. Indessen ergaben die Beobachtungen von Herrn Barnard,[5]) dass der Gegenschein jederzeit sichtbar ist,

[1]) Unterhaltungen XI, p. 133 (1857).

[2]) The Astrophysical Journal, 1898, p. 244.

[3]) Découverte p. 27/28.

[4]) Heis, Zodiacallichtbeobachtungen, p. V, siehe auch A. N., Bd. 49, p. 219 (1858), cf. Anhang Nr. 8. Betreffs der einmaligen Beobachtungen von A. v. Humboldt und Jones sehe man Humboldt 1803: A. N. Nr. 989, cf. Anhang Nr. 9.

Jones 1855: Astronomical Journal, Nr. 84, p. 94: From a Letter of the Rev. George Jones U. S. N. to the Editor, cf. Anhang Nr. 10.

[5]) The Astronomical Journal (1891), XI, p. 19.

ausser in den Monaten Juni und Dezember, weil dann der Gegenpunkt der Sonne in den Kreuzungsstellen von Ekliptik und Milchstrasse liegt, also die Milchstrasse den schwachen Schimmer des Gegenscheins überwältigt.

Eine andere sehr empfindliche Fehlerquelle bildet die verschiedene Helligkeit des Himmelsgrundes. Wie wir oben schon gesehen haben, sieht Cassini darin die Wirkung der grösseren oder geringeren Anzahl teleskopischer Sterne. Herr Searle denkt auch an Nebel bezw. verstreute Nebelmassen, von deren zahlreicher Existenz man ja eigentlich erst durch die Photographie Kunde erhielt. Eines der Hauptverdienste von Herrn Searle[1]) auf dem Gebiete der Zodiakallichtforschung ist es, diese Fehlerquelle auch untersucht zu haben. In seinen Untersuchungen hebt er als besonders beachtenswert 3 Lichtbänder hervor: das Lichtband (I) von Aquila zu den Plejaden beginnt zwischen α und δ Aquilae, geht zwischen α und β Aquilae hindurch, bei $\varkappa$ Aquarii vorbei, kreuzt die Ekliptik, geht zwischen 27 und ν Piscium hindurch und endet bei den Plejaden. Die Farbe im Gegensatz zur gelblichen Farbe des Zodiakallichtes scheint nach Herrn Searle weisslich zu sein. Das Lichtband (II) verbindet Coma Berenices mit der Milchstrasse. Von Coma Berenices ausgehend erstreckt es sich in südöstlicher Richtung bis τ Leonis, wendet dann nordöstlich, indem es dem Zodiacus entlang geht, passiert o Leonis und endigt bei der Praesepe, die mit der Milchstrasse durch eine hellere Gegend verbunden ist. Das Lichtband (III), südlich von β und η Virginis, ist nahezu parallel der diese beiden Sterne verbindenden Linie und endet nahe bei α Virginis. Die Ähnlichkeit mit dem Lichte der Milchstrasse scheint Herrn Searle geringer zu sein als mit dem des Zodiakallichtes. Auch Herr Maunder[2]) berichtet von

[1]) (I) A. N. Band 99, p. 94 (1880)
(II) A. N. Band 122, p. 263 (1882)
(III) A. N. Band 109, p. 257 (1884)
} cf. Anhang Nr. 11.

Die neueren Untersuchungen von Herrn Searle finden sich in den Annals of Harvard College Observatory, Vol. XXXIII, Nr. II. Positions of Gegenschein determined by various observers in the years 1891 to 1894, Nr. III. Positions of Luminous bands in the zodiacal region during the years 1893 to 1895.

[2]) Monthly Notices, Band 58, Nr. 5 (1898).

einem Lichtband von α to ϱ Piscium und α to γ Piscium (letzteres Band also das Band (I) von Herrn Searle). Nach Herrn Searle[1]) sind nun durch diese Bänder einige Erscheinungen zu erklären, so das lange Stehenbleiben der Spitze des Zodiakalkegels bei den Plejaden durch Band (I), die Ausdehnung und Verstärkung des Gegenscheins im Oktober ebenfalls durch Band (I), die Helligkeit des Gegenscheins in den Monaten Februar und März durch Band (III). im Februar, weil auch noch eine dunkle Stelle in einem Teile von Leo sich befindet. Alle die Fehlerquellen, die wir bei der Beschreibung des Zodiakalkegels anführten, haben natürlich auf den lichtschwächeren Gegenschein einen viel grösseren Einfluss. In Anbetracht der geringeren Helligkeit muss die Beobachtung der Herren Barnard[2]) und Schiaparelli[3]) um so paradoxer erscheinen, dass der Gegenschein nicht am besten sichtbar ist, wenn er im Meridian die grösste Höhe über dem Horizont erreicht, sondern vielmehr ausserhalb des Meridians etwa in einer Höhe von 30° und nicht, wenn die Luft besonders rein und durchsichtig, sondern im Gegenteil „quand il y a dans l'air un je ne sais quoi de brumeux."

Gewöhnlich zeigt sich der Gegenschein als eine rundliche Masse matten Lichtes ungefähr 10° im Durchmesser.[4]) Schon Heis[5]) fand die von allen späteren Beobachtern bestätigte Tatsache, dass der Mittelpunkt des meistens als elliptisch beschriebenen Gegenscheins nicht genau im Gegenpunkt der Sonne liegt, sondern um wenige Grade davon entfernt, so dass die grosse Axe der Ellipse ausserhalb der Ekliptik zu liegen kommt, meist parallel der Ekliptik. Herr Levis präzisiert diese Beobachtung dahin, dass der Mittelpunkt etwas nördlich von der Ekliptik liegt und bald westlich bald östlich vom Gegenpunkt, nach Herrn Barnard[6]) beides wohl eine Wirkung der mit der Zenitdistanz zunehmenden atmosphärischen Absorption. Diese Wirkung

[1]) Researches p. 226.
[2]) The Astronomical Journal XVII, p. 151 (1897).
[3]) Spettr. Ital. 1876, p. 134.
[4]) Barnard: „a roundish mass of hazy light about 10 degrees in diameter."
[5]) Zodiacallichtbeobachtungen p. VI.
[6]) The Astronomical Journal, XI p. 19, XIII p. 169.

besteht aber darin, dass sie den Gegenschein sich nicht so weit gegen den Horizont zu erstrecken lässt. Dadurch entsteht aber ein neuer Mittelpunkt, der genau über dem alten, also nördlich von der Ekliptik liegt. Welche Länge in der Ekliptik erhält dadurch der neue Mittelpunkt? Offenbar müssen wir unterscheiden, ob der Gegenschein auf dem östlichen oder westlichen Aste der Ekliptik — je bis zu dem am höchsten über dem Horizont liegenden Punkt gerechnet — liegt. Denn projizieren wir den neuen Mittelpunkt auf die Ekliptik, so wird der Fusspunkt dieses Lotes westlich bezw. östlich vom alten (Gegenpunkt) fallen, wenn der Gegenschein auf der östlichen bezw. westlichen Seite der Ekliptik liegt. Wenn wir also λ die Länge des Gegenscheins, $\odot$ die Länge der Sonne nennen und $\Delta\lambda = (\lambda - \odot) - 180^\circ$ setzen, so wird im ersteren Fall $(\lambda - \odot) < 180^\circ$, also $\Delta\lambda$ negativ sein, im zweiten Fall $(\lambda - \odot) > 180^\circ$, also $\Delta\lambda$ positiv. Was die Grösse von $\Delta\lambda$ betrifft, so hängt sie von zwei Grössen ab: sie wird um so grösser sein, je steiler die Ekliptikstrecke des Gegenscheins gegen den Horizont geneigt ist, und um so kleiner, je höher der Gegenschein über dem Horizont liegt. $\Delta\lambda$ ist vor allem keine monotone Funktion des Stundenwinkels, wie die Herren Searle und Bernard meinen, das wäre nur dann der Fall, wenn die Ekliptik ein Parallelkreis wäre, sondern eine sehr komplizierte, die sich auch noch von Tag zu Tag ändert, da eben die Neigung der Ekliptik sich von Tag zu Tag (für eine und dieselbe Zeit) ändert. Wenn aber der neue Mittelpunkt südlich von der Ekliptik liegt, so sind die hier analog zu machenden Folgerungen nur dann gestattet, wenn wir auch hier annehmen dürfen, dass der neue Mittelpunkt genau südlich vom alten (Gegenpunkt) liegt. Da dafür keine Ursache zu finden ist, so werden die Beobachtungen in diesem Fall unseren hier gemachten Folgerungen widersprechen. Liegt der Gegenschein aber nicht genau südlich vom Gegenpunkt — die lokalen zufälligen Schwächungen und Beobachtungsfehler sind die Ursache —, so kann auch nichts über $\Delta\lambda$ ausgesagt werden, vielmehr muss es alle möglichen positiven und negativen Werte haben.

Untersuchen wir daraufhin die schönen Beobachtungen von Herrn Barnard, so ergibt sich, wenn wir

$$w = \frac{\text{Zahl der mit der Hypothese übereinstimmenden Beobachtungen}}{\text{Zahl der Beobachtungen}}$$

setzen und den Fall $\beta = 0$ ausschliessen:

		w_+	w_-
I[1])	1883—1887	$\frac{5}{8}$	$\frac{1}{8}$
II	1888—1891	$\frac{12}{14}$	$\frac{1}{2}$
III	1893	$\frac{3}{17}$	$\frac{1}{4}$
IV	1894—1897	$\frac{4}{6}$	$\frac{0}{2}$

$w_+ = w$ für $\beta = +$
$w_- = w$ für $\beta = -$

Nehmen wir zuerst den Fall $\beta = -$, so kann hier nur die I. Gruppe in Betracht kommen (die anderen enthalten zu wenig Beobachtungen), die mit unserer Hypothese nicht übereinstimmt. Nehmen wir den Fall $\beta = +$, so sehen wir, dass sehr gut die II. Gruppe mit unserer Hypothese übereinstimmt, weniger die I. und IV., gar nicht die III., vielmehr der Hypothese widerspricht. Nun hat aber Herr Barnard in den Gruppen I und II die Grösse $(\odot - \lambda)$, in den Gruppen III und IV die Grösse $(\lambda - \odot)$, so dass also die Vermutung nahe liegt, es könne entweder ein Druckfehler oder eine Verwechslung vorliegen. Nehmen wir also für die Gruppen III und IV die Zahlen $\frac{14}{17}$ und $\frac{2}{6}$ bezw. $\frac{3}{4}$ und $\frac{2}{2}$, so stimmt die III. Gruppe sehr gut mit der Hypothese, die IV., die aber wegen geringer Zahl der Beobachtungen weniger in Betracht kommt, nicht. Fassen wir nun alle Gruppen zusammen, so erhalten wir

$$w_+ = \frac{33}{45} \qquad w_- = \frac{7}{16}$$

also ein Resultat, das mit unserer Hypothese übereinstimmt. Aus $w_- = \frac{7}{16}$ ersehen wir, dass die Zahl der mit der Hypothese übereinstimmenden Beobachtungen (7) fast gerade so gross ist wie die Zahl der der Hypothese widersprechenden Beobachtungen (8), dass also der Zufall (von Beobachtungsfehlern und lokalen Trübungen) herrscht. Da dieser natürlich auch bei den anderen Beobachtungen ($\beta = +$) mitwirkt, so darf man nicht erwarten, dass

[1]) I The Astronomical Journal, Band VII, p. 186.
II „ „ „ „ XI, p. 19.
III „ „ „ „ XIII, p. 169.
IV „ „ „ „ XVII, p. 151.

gar keine Beobachtung der Hypothese widerspricht. In der Tat ersieht man auch aus $w_+ = \frac{3}{4}\frac{3}{5}$, dass die Zahl der mit der Hypothese übereinstimmenden Beobachtungen (33) die Zahl der der Hypothese widersprechenden Beobachtungen (12) nur übertrifft, wie es die Hypothese fordert.

Aus den Beobachtungen des Harvard College allein findet Herr Searle,[1]) dass der Gegenschein die grösste nördliche Breite ungefähr bei 150° Länge erreichte, dass er allmählich der Ekliptik sich näherte in dem Maasse, wie die Länge zunahm und schliesslich sogar eine südliche Breite erreichte bei einer Länge von 0°, ganz in Übereinstimmung mit den Beobachtungen von Heis.

Die Helligkeit des Gegenscheins ist nach Brorsen[2]) geringer als die der Milchstrasse. Genauer spricht sich Herr Backhouse[3]) aus. Nach ihm ist sie wahrscheinlich gleich der des Zodiakallichtes in der Elongation 100° oder 110° von der Sonne, also gleich der Milchstrasse in den helleren Teilen des Perseus. Die Verteilung der Helligkeit ist eine fast gleichmässige zu nennen, nach Herrn Barnard[4]) wird der Gegenschein ganz allmählich nach der Mitte zu heller. Dem steht die freilich vereinzelte Beobachtung von Herrn Pickering[5]) entgegen, der in Arequipa den Gegenschein als einen Lichtring sah mit dunklem Zentrum, während wiederum Herr Levis bisweilen in der Mitte einen Kern von grösserer Helligkeit, 2° Durchmesser, bemerkte. Von Interesse ist die Bemerkung von Herrn Barnard[5]) (der mit dem 12 Zöller der Lick-Sternwarte den Gegenschein beobachtet hat), dass der Gegenschein nicht das Aussehen einer Nebelmasse hat, sondern einer lichtreflektierenden kosmischen Staubwolke (infinitely small particles of dust).

Die Frage der Parallaxe ist insofern von Wichtigkeit, als sie die Hypothese des terrestrischen Ursprungs des Gegenscheins von sich abhängig macht. Herr Barnard[5]) findet, dass, wenn

[1]) Researches p. 227.

[2]) A. N., Band 49, p. 219 (1858).

[3]) Monthly Notices, Band 36, p. 46 (1875).

[4]) The Astronomical Journal, VII, p. 186.

[5]) The Astronomical Journal, XIII, p. 169. Siehe die Beschreibung des Saturnringes von Trouvelot: „Unter Anwendung starker Vergrösserungen bei

er eine Entfernung bis zur halben Mondentfernung habe, eine Parallaxe in seinen Beobachtungen sich gezeigt haben würde. Auch Herr Searle[1]) berichtet, dass in den gleichzeitigen Beobachtungen in New England, Kalifornien und Peru keine Parallaxe sich verriet. Damit dürfte wohl endgültig die Hypothese des terrestrischen Ursprungs des Gegenscheins beseitigt sein.

Veränderungen des Gegenscheins wurden schon von Brorsen[2]) bemerkt, so lange die Luftverhältnisse ihm gestatteten, ihn zu beobachten. Das war aber, wie wir oben gesehen, nur in den Frühlings- und Herbstmonaten der Fall. Erst Herrn Barnard[3]) war es gelungen, den Gegenschein das ganze Jahr über zu beobachten und seine Veränderungen genau zu studieren. Nach seinen Schilderungen stellt sich der Vorgang folgendermassen dar: Im Mai noch rund und klein (Durchmesser $< 10^0$) besitzt der Gegenschein, nach dem Überschreiten der Milchstrasse im Juni, zwar immer noch seine runde Gestalt, ist aber viel breiter (Durchmesser 20^0) und in der Mitte merklich heller. Im Laufe der Monate Juli, August zeigt er keine Veränderungen, erst in der Nähe des Frühlingsäquinoktiums in den Monaten September, Oktober zieht sich seine Gestalt längs der Ekliptik in die Länge, wird elliptisch, bis er schliesslich durch ein etwa 4^0 breites Zodiakalband mit dem Zodiakallicht verbunden ist und nur noch als Anschwellung und Verstärkung des Zodiakalbandes (10^0 bis 12^0 breit) erscheint. Bis April zeigt sich dann keine weitere Veränderung. Ob auch Jones[4]) dieses Zodiakalband gesehen, erscheint fraglich,

Instrumenten mit grosser Öffnung hatte ich den Eindruck, als ob die vermeintlichen Teilchen durch die Einwirkung einer mächtigen Kraft sich weiter voneinander zu entfernen scheinen. Ich behaupte nicht, in dem düsteren Ringe bestimmte, getrennte Teilchen gesehen zu haben, aber öfters waren die momentan erhaltenen Eindrücke so bestimmt, dass es mir schien, bei noch etwas günstigeren Bedingungen getrennte Körperchen entdecken zu können. Die Erscheinung war ungefähr wie die feinen Staubteilchen, die in einem Sonnenstrahl schwimmen, der in ein dunkles Zimmer fällt" (Klein, Anleitung zur Durchmusterung des Himmels, p. 315).

[1]) The Astrophysical Journal, 1898, p. 244.

[2]) Unterhaltungen, 1856, p. 6, A. N. Nr. 998, cf. Anhang Nr. 12.

[3]) Die oben erwähnten 4 Abhandlungen in Astronomical Journal, cf. Anhang Nr. 13.

[4]) The Astronomical Journal, Band V, p. 28 (1856), cf. Anhang Nr. 14.

wenigstens spricht er selbst den Verdacht aus, dass der von ihm gesehene luminous arch nichts mit dem Zodiakallicht zu tun habe. Seine Hauptgründe sind: 1) das Band zeigt keine Veränderung in Bezug auf die Ekliptik wie das Zodiakallicht, wenn der Beobachter seinen Standpunkt ändert; 2) das Band hat im Gegensatz zu dem warmen gelblichen Licht der Milchstrasse kaltes, weissliches Licht; 3) das Band durchzieht den Himmel gleichförmig, während das Zodiakallicht spitz verläuft.

Bestätigungen der Existenz des Zodiakalbandes haben wir noch von einigen Beobachtern. Schiaparelli[1]) sah in der Nacht des 3. Mai 1862 gegen Mitternacht das Zodiakallicht in Gestalt einer zusammenhängenden Brücke die ganze sichtbare Halbkugel des Himmels überziehen, indem es in einer Breite von ungefähr 15° die Sternbilder Zwillinge, Löwe, Jungfrau, Wage, Skorpion durchstrich. Heis[2]) erwähnt eine eigene Beobachtung und zwei von Serpieri und Eylert, wonach merkwürdigerweise der Gegenschein ausserhalb des Bandes lag. Aus neuerer Zeit haben wir noch Beobachtungen von den Herren Marchand,[3]) Maunder[4]) und Bayldon,[5]) namentlich ersterer hat unter sehr günstigen Verhältnissen beobachtet.

---

[1]) Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen, p. 192.

[2]) Heis, Zodiacallichtbeobachtungen, p. VI und 5/6.

[3]) Comptes rendus, Band CXXI, p. 1134 (1895).

[4]) Monthly Notices, Band 58, Nr. 5 (1898).

[5]) Publications of the Astronomical Society of the Pacific, XII, p. 13: Notes on the Zodiacal Light (Being a summary of observations made at sea since 1889).

II.

Die Theorie.

Von jeher hat die Erscheinung des Zodiakallichtes die Phantasie der Beobachter gereizt und es sind auch die mannigfaltigsten Versuche gemacht worden, alle die Erscheinungen, die durch Beobachtung jeweilig festgestellt waren, einheitlich zu erklären. Keine Wissenschaft aber scheint mehr berufen zu sein, das Beobachtungsmaterial, das freilich erst zu schaffen wäre, zu verwerten als die Photometrie und keine Theorie scheint eine so weitgehende mathematische Behandlung zuzulassen, als eben die photometrische. Es soll daher im folgenden die photometrische Theorie des Zodiakallichtes entwickelt und auf die oben schon mitgeteilte Hypothese von Fatio gegründet werden, nach der wir uns in einem Schwarm kleiner lichtreflektierender Körperchen, in einer sogenannten kosmischen Staubwolke, befinden. Die Formeln werden also auf dieselbe Weise abgeleitet werden können, wie es Herr Professor Seeliger[1]) in seiner Theorie der Beleuchtung des Saturnringes getan hat. Das Unterscheidende ist dabei nur, dass Lichtquelle und Beobachter beide innerhalb der Staubwolke sich befinden. Dies bedingt dann weiter, dass die Sonne nicht als Lichtpunkt angenommen werden darf. Es fragt sich nur noch, was aus den beiden Zylindern wird, die mit ihrem gemeinsamen Raum in der Seeliger'schen Theorie eine so grosse Rolle spielen. Diese Räume haben die Eigenschaft, dass Kugeln (als solche nehmen wir der Einfachheit halber unsere Körperchen an), deren Mittelpunkte in ihnen liegen, das von der Sonne beleuchtete und von der Erde aus betrachtete Element, nach dem die Zylinder gerichtet sind, beschatten bezw. verdecken. In unserem Fall werden also die beiden Räume ein abgestumpfter Kegel V_1 und

[1]) Abhandlungen der K. Bayer. Akademie der Wiss., II. Kl., XVI. Bd., II. Abt.: Zur Theorie der Beleuchtung der grossen Planeten, insbesondere des Saturn (1887).

Abhandlungen der K. Bayer. Akademie der Wiss., II. Kl., XVIII. Bd., I. Abt.: Theorie der Beleuchtung staubförmiger kosmischer Massen, insbesondere des Saturnringes (1893).

ein spitzer Kegel V_2 sein und zwar wird der abgestumpfte Kegel V_1 das Auge und die Kugel umhüllen, der spitze Kegel V_2 entsteht auf folgende Weise: zunächst beschreibe man einen Kegel V_3 mit der Spitze im Mittelpunkt der Kugel, der die Sonne umhüllt, dann beschreibe man zu den Tangentialebenen dieses Kegels Parallelebenen im Abstand ϱ, die also die Kugel einhüllen und den Tangentialkegel V_2 (der andere kommt nicht in Betracht) der Kugel bilden.

Aber eines ist noch zu bedenken, dass die Lichtmenge, die das Element von der Sonne empfängt, durch die davorliegenden Kugeln, deren Mittelpunkte im Kegel V_3 (natürlich ohne den Raum, den V_2 aus V_3 herausschneidet) sich befinden, geschwächt wird. Es zeigt sich dann, dass gegenüber den Wirkungen von V_1 und V_3 die Wirkung von V_2, da wir in geringer Entfernung von der Sonne sich befindliche Kugeln überhaupt nicht mehr beobachten können, zu vernachlässigen ist, um so mehr also auch die Wirkung des gemeinsamen Raumes von V_1 und V_2. Die Berechtigung der eben gemachten Vernachlässigung erhellt aus folgendem: es sei die Entfernung der Kugel von der Sonne r, der Radius der Sonne R, der der Kugel ϱ, dann ist, wenn wir $\varrho = \frac{1}{2}$ Meter und $\frac{r}{R} = 300$ setzen, Werte, die im allgemeinen eher zu gross als zu klein sind, die Höhe des Kegels V_2 (genauer die Entfernung Spitze — Mittelpunkt der Kugel) offenbar $\frac{r\varrho}{R} = 150$ Meter. Befinden sich nun N Kugeln im Raume Z, so ist nach den Entwicklungen von Herrn Professor Seeliger[1]) der mittlere Abstand zwischen diesen gegeben durch

$$2 \cdot \left(\frac{Z}{N}\right)^{1/3} \frac{\Gamma(\frac{4}{3})}{(\frac{4}{3}\pi)^{1/3}}.$$

Führen wir den Radius ϱ ein und nehmen an, dass die Kugeln den $10^{x\text{ten}}$ Teil des Raumes, in dem sie sich befinden, einnehmen, so beträgt ihr mittlerer Abstand

$$2 \cdot \varrho\, \Gamma(\tfrac{4}{3})\, 10^{\frac{x}{3}}.$$

[1]) A. N. Nr. 3273.

Mit Hilfe dieser Formel erhalten wir dann folgende Tabelle:

Dichte	mittl. Abstand	Dichte	mittl. Abstand
10^{-6}	89 Meter	10^{-10}	1.9 km
10^{-7}	192 „	10^{-11}	4.1 „
10^{-8}	414 „	10^{-12}	8.9 „
10^{-9}	893 „	10^{-13}	19.2 „

Hieraus ist nun ersichtlich, dass in dem Kegel V_2, wenn wir die noch sehr grosse Dichte 10^{-7} nehmen, weniger als 1 Kugel sich befindet. Man wird aber die Dichte erheblich kleiner nehmen müssen, wenn man bedenkt, dass die Kugeln verschiedene Grösse haben, dass also neben solchen von $\varrho = 0.5$ Meter auch viel kleinere etwa bis zu $\varrho = 0.05$ Meter existieren. Wir erhalten dann offenbar eine untere Grenze für die Dichte, wenn wir auch für diese den mittleren Abstand berechnen (der $^1/_{10}$ mal so gross ist wie der frühere) und die zu dem Abstand 150 Meter gehörige Dichte nehmen (wir denken uns also hier die Zodiakalwolke nur aus Kugeln vom Radius 0.5 und 0.05 Meter bestehend), die hier 10^{-10} ist. Zwischen 10^{-7} und 10^{-10} wird man also ungefähr die Dichte nehmen müssen, wenn die Kugeln alle möglichen Radien von 0.5 Meter bis zu 0.05 Meter besitzen.

Bezeichnen wir die Lichtmenge, die eine Kugel vom Radius ϱ in der Entfernung r von der Sonne, Δ von der Erde, uns zusendet, mit q, die Anzahl der Kugeln in einem Zodiakalraum Z, der so gross zu nehmen ist, dass seine mittlere Dichte sich wenig ändert, wenn man ihn grösser oder kleiner nimmt, mit N, so ist die Flächenhelligkeit des Himmelsgrundes an irgend einer Stelle

$$J = \int_0^{t_0} \frac{N}{Z} \Delta^2 q \, e^{-\frac{N}{Z} \varepsilon^2 \pi (r+\Delta)} \, d\Delta.$$

Nun ist aber

$$q = \frac{\mu L}{2\pi P} \frac{\varrho^2}{\Delta^2} \int_0^{\pi} \sin\vartheta \, d\vartheta \int_{\alpha}^{\pi} \varphi \left[\sin\vartheta \sin(\omega - \alpha), \ \sin\vartheta \sin\omega\right] d\omega,$$

$$\mu = 2\pi\gamma P \quad P = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \operatorname{tg} i \, di \int_0^{\frac{\pi}{2}} \varphi_1 (\cos i, \cos\varepsilon) \sin\varepsilon \, d\varepsilon \quad L = S \left(\frac{R}{r}\right)^2.$$

Dabei ist L die Lichtmenge, die ein senkrecht der Sonnenstrahlung ausgesetztes Flächenelement 1 in der Entfernung r von der Sonne erhält, S die Flächenhelligkeit der Sonnenscheibe, μ die Albedo der Zodiakalkörperchen, γ eine Konstante, φ eine das elementare Beleuchtungsgesetz darstellende Funktion des Incidenzwinkels i und des Emanationswinkels ε, α der Phasenwinkel, ϑ und ω Kugelkoordinaten, die ein beleuchtetes Element auf der Kugel festlegen. Setzen wir noch der besseren Übersicht halber

$$f(\alpha) = \int_0^{\pi} \sin\vartheta \, d\vartheta \int_{\alpha}^{\pi} \varphi\,[\sin\vartheta \sin(\omega - \alpha),\ \sin\vartheta \sin\omega]\, d\omega,$$

so wird

$$q = \frac{\mu}{2P} S \left(\frac{R\varrho}{r\Delta}\right)^2 f(\alpha).$$

Die Formel für die Flächenhelligkeit geht also dann über in

$$J = \frac{\mu}{2P} S R^2 \varrho^2 \int_0^{\Delta_0} \frac{N}{Z} e^{-\frac{N}{Z}\varrho^2 \pi (r+\Delta)} f(\alpha) \frac{1}{r^2} d\Delta.$$

Dabei wird wahrscheinlich in $\frac{N}{Z}$ die Grösse N von der Lage des Raumes Z abhängen, d. h. also $\frac{N}{Z}$ eine Funktion der Entfernung r von der Sonne und der Höhe h über der Zodiakalebene sein. Da die Dichte $\delta = \frac{N}{Z}$ zunächst ganz unbekannt, jedenfalls aber sehr klein ist, so wollen wir sie so gering annehmen, dass die Exponentialfunktion unter dem Integralzeichen vernachlässigt werden kann. Wir erhalten dann

$$J = \Gamma \int_0^{\Delta_0} f(\alpha) \frac{\delta(r,h)}{r^2} d\Delta \qquad \Gamma = \frac{\mu}{2P} S R^2 \varrho^2.$$

Die Vernachlässigung der Exponentialfunktion verlangt natürlich eine obere Grenze für die Dichte. Wir setzen nun

$$\varrho = \tfrac{1}{2} \text{ Meter} = 7.2 \times 10^{-10} \text{ Sonnenradien},$$

dann ist

$$\varrho^2 \pi = 1.6 \times 10^{-18} \text{ Sonnenradien}.$$

Füllen nun n Kugelvolumina die Raumeinheit aus, so ist, wenn wir für den Augenblick den Sonnenradius zur Längeneinheit wählen

$$n \cdot \tfrac{4}{3} \varrho^3 \pi = 1,$$

woraus mit den obengenannten Werten

$$n = 6.4 \times 10^{26}.$$

In dem Zodiakalraum Z seien N Kugeln, dann ist deren Volumen

$$N \cdot \tfrac{4}{3} \varrho^3 \pi = \frac{N}{n},$$

somit gibt der Ausdruck

$$\frac{N}{n} : Z = \frac{\delta}{n}$$

an, der wie vielte Teil des Zodiakalraumes Z mit Masse erfüllt ist. Setzen wir also

$$\frac{\delta_x}{n} = 10^{-x},$$

so liefert diese Gleichung, wenn wir x variieren, die Werte δ:

10^{-x}	$\delta = \frac{N}{Z}$	$\frac{N}{Z} \varrho^2 \pi$	$\frac{N}{Z} \varrho^2 \pi \cdot 500$
10^{-8}	6.4×10^{18}	4.6	
10^{-9}	6.4×10^{17}	4.6×10^{-1}	
10^{-10}	6.4×10^{16}	4.6×10^{-2}	
10^{-11}	6.4×10^{15}	4.6×10^{-3}	2.3
10^{-12}	6.4×10^{14}	4.6×10^{-4}	0.23
10^{-13}	6.4×10^{13}	4.6×10^{-5}	0.023

Da $\frac{N}{Z} \varrho^2 \pi$ noch mit $(r + \Delta)$, ausgedrückt in Sonnenradien, multipliziert wird, also mit Zahlen, die wohl die Grösse 500 erreichen können, wenn wir die Zodiakalscheibe sich nicht sehr weit über die Erdbahn hinaus erstrecken lassen, so darf $\frac{N}{Z} \varrho^2 \pi \cdot 500$ jedenfalls nicht grösser angenommen werden als 0.023, da sonst die Exponentialfunktion nicht annähernd $= 1$ gesetzt werden kann.

Wir müssen also annehmen, dass höchstens der $10^{13\,\text{te}}$ Teil eines Zodiakalraumes mit Masse erfüllt ist.

Es soll nun im Folgenden die Zodiakalebene in die Ekliptik verlegt werden. Da noch 3 Variable α, r, Δ unter dem Integralzeichen stehen, so müssen 2 davon durch die 3. ausgedrückt werden. Ist der Strahl Δ_0 nach einer Stelle des Himmels gerichtet, welche die Länge E von der Sonne, in der Ekliptik gezählt, und die Breite β über der Ekliptik besitzt, dann ist die Elongation ε von der Sonne bestimmt durch die Gleichung

$$\cos\varepsilon = \cos E \cos\beta.$$

Führen wir nun der Reihe nach Δ, r, α als Integrationsvariable ein, so erhalten wir folgende Formeln:

$$(1)\quad J = \Gamma \int_0^{\Delta_0} f(\alpha)\,\frac{\delta(r,h)}{r^2}\,d\Delta$$

$$r = \sqrt{\Delta^2 + \varkappa^2 - 2\,\Delta\,\varkappa\cos\varepsilon}$$

$$h = \Delta\sin\beta$$

$$\alpha = \operatorname{arc\,tg}\frac{\varkappa\sin\varepsilon}{\Delta - \varkappa\cos\varepsilon}$$

$$\Delta_0 = \varkappa\cos\varepsilon + \sqrt{a^2 - \varkappa^2\sin^2\varepsilon}$$

$$(2)\quad J = \Gamma \int_{\varkappa\sin\varepsilon}^{\varkappa} f(\alpha)\,\frac{\delta(r,h)}{r\sqrt{r^2-\varkappa^2\sin^2\varepsilon}}\,dr + \Gamma \int_{\varkappa\sin\varepsilon}^{a} f(\alpha)\,\frac{\delta(r,h)}{r\sqrt{r^2-\varkappa^2\sin^2\varepsilon}}\,dr$$

$$h = (\varkappa\cos\varepsilon \pm \sqrt{r^2 - \varkappa^2\sin^2\varepsilon})\sin\beta$$

$$\alpha = \operatorname{arc\,sin}\left(\frac{\varkappa}{r}\sin\varepsilon\right)$$

a = Radius der Zodiakalscheibe

$\varkappa$ = Radius der Erdbahn

$$(3)\quad J = \frac{\Gamma}{\varkappa\sin\varepsilon}\int_{\alpha_0}^{\pi-\varepsilon} f(\alpha)\,\delta(r,h)\,d\alpha$$

$$r = \varkappa\,\frac{\sin\varepsilon}{\sin\alpha}$$

$$h = \varkappa\sin\beta\,\frac{\sin(\alpha+\varepsilon)}{\sin\alpha}$$

$$\alpha_0 = \operatorname{arc\,sin}\left(\frac{\varkappa}{a}\sin\varepsilon\right).$$

Da $f(\alpha)$ und $\delta(r)$ beide Funktionen von α und beide unbekannt sind, so können wir den Ausdruck $f(\alpha)\,\delta(r)$ irgendwie zerlegen in zwei andere Funktionen $f'(\alpha)$ und $\delta'(r)$, ja es wird sogar möglich sein, die Funktion $\delta(r)$ ganz zu unterdrücken,

was nichts anderes bedeutet, als dass wir die Dichte konstant annehmen. Setzen wir nun $f(\alpha)$ in der Form

$$f(\alpha) = c_0 + c_1 \alpha + c_2 \alpha^2 + \cdots + c_n \alpha^n$$

voraus, so können wir offenbar bequem integrieren. Haben wir dann durch Beobachtung n Werte J bestimmt, so dürfen wir diesen beobachteten J die berechneten n Werte F gleichsetzen, wo $F = \frac{\Gamma}{\sin E} \int_{\alpha_0}^{\alpha-E} f(\alpha)\, d\alpha$. So lange die Dichte nur wenig variiert, kann wohl auf diese Weise (Berechnung der c durch n lineare Gleichungen) $f(\alpha)$ bestimmt werden, ohne dass ein allzu falsches Resultat sich ergeben mag. Variiert aber die Dichte stark, so muss das berechnete $f(\alpha)$ ein geradezu unmögliches Resultat geben. Denn die Funktion $f(\alpha)$ muss die Eigenschaft besitzen, beständig abzunehmen. Diese Berechnung liefert uns also ein Hilfsmittel zunächst zu untersuchen, ob die Dichte mehr oder weniger stark variiert, indem man die so berechnete Funktion $f(\alpha)$ auf ihre Möglichkeit bezw. Wahrscheinlichkeit untersucht.

Gehen wir zur Berechnung über, so müssen wir beide Funktionen $f(\alpha)$ und $\delta(r)$ in eine solche Form bringen, dass ihr Produkt bequem integrierbar ist. Das ist aber der Fall, wenn wir $f(\alpha)$ in eine Fourier'sche Reihe mit Vielfachen von α entwickeln, wobei es genügen wird, noch die Glieder mit $\sin 2\alpha$ und $\cos 2\alpha$ mitzunehmen. Die Dichtefunktion $\delta(r)$ lassen wir mit der Entfernung von der Sonne abnehmen. Sie wird aber auch noch von der Höhe über der Zodiakalebene abhängen, wahrscheinlich wird sie sogar sehr rasch abnehmen. Wir entwickeln also δ nach Potenzen von r und h, dann haben wir

$$f(\alpha)\delta(r,h) = \left\{\begin{matrix} A_0 + A_1\cos\alpha + A_2\cos 2\alpha + \cdots \\ + B_1\sin\alpha + B_2\sin 2\alpha + \cdots \end{matrix}\right\} \cdot \left\{\begin{matrix} c_{00} + (c_{10}r + c_{01}h) + (c_{20}r^2 + c_{11}rh + c_{02}h^2) \\ + (c_{30}r^3 + c_{21}r^2h + c_{12}rh^2 + c_{03}h^3) \\ + (c_{40}r^4 + c_{31}r^3h + c_{22}r^2h^2 + c_{13}rh^3 + c_{04}h^4) \\ + \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \end{matrix}\right\}$$

Im allgemeinen wird man wohl annehmen dürfen, dass die Dichte nach beiden Seiten von der Zodiakalebene aus in gleicher Weise abnehmen wird. Dann folgt aber sofort, dass in der Funk-

tion δ alle ungeraden Potenzen von h wegfallen müssen. Lassen wir die Zodiakalebene mit der Ekliptik zusammenfallen und beobachten nur Punkte in der Ekliptik, für die also $h = 0$ ist, so erhalten wir

$$f(\alpha)\delta(r) = \begin{Bmatrix} A_0 + A_1\cos\alpha + A_2\cos 2\alpha + \cdots \\ + B_1\sin\alpha + B_2\sin 2\alpha + \cdots \end{Bmatrix} \cdot \{C_0 + C_1 r + C_2 r^2 + C_3 r^3 + C_4 r^4 + C_5 r^5 + \cdots\}$$

und wenn wir integrieren

$$\int f(\alpha)\,\delta(r)\,d\alpha = \mathfrak{C}_0\mathfrak{A}_0 + \mathfrak{C}_1\mathfrak{A}_1 + \mathfrak{C}_2\mathfrak{A}_2 + \mathfrak{C}_3\mathfrak{A}_3 + \mathfrak{C}_4\mathfrak{A}_4 + \mathfrak{C}_5\mathfrak{A}_5 + \cdots$$

$$\mathfrak{A}_0 = A_0\,\alpha + A_1\sin\alpha - B_1\cos\alpha + A_2\sin\alpha\cos\alpha + B_2\sin^2\alpha$$

$$\mathfrak{A}_1 = A\log\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} + A_1\log\sin\alpha + B_1\,\alpha + 2A_2\cos\alpha + 2B_2\sin\alpha$$

$$\mathfrak{A}_2 = -A\operatorname{ctg}\alpha - A_1\frac{1}{\sin\alpha} + B_1\log\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} - 2A_2\,\alpha + 2B_2\log\sin\alpha$$

$$\mathfrak{A}_3 = -\tfrac{1}{2}A\frac{\cos\alpha}{\sin^2\alpha} + \tfrac{1}{2}(A_0 - 3A_2)\log\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} - \tfrac{1}{2}A_1\frac{1}{\sin^2\alpha} - B_1\operatorname{ctg}\alpha - 2B_2\frac{1}{\sin\alpha}$$

$$\mathfrak{A}_4 = (A_2 - A_0)\operatorname{ctg}\alpha - \tfrac{1}{3}A\operatorname{ctg}^3\alpha - \tfrac{1}{3}A_1\frac{1}{\sin^3\alpha} + \tfrac{1}{2}B_1\log\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} - \tfrac{1}{2}B_1\frac{\cos\alpha}{\sin^2\alpha} - B_2\frac{1}{\sin^2\alpha}$$

$$\mathfrak{A}_5 = -\tfrac{1}{4}A\frac{\cos\alpha}{\sin^4\alpha} + \tfrac{1}{8}(5A_2 - 3A_0)\left(\frac{\cos\alpha}{\sin^2\alpha} - \log\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}\right) - \tfrac{1}{4}A_1\frac{1}{\sin^4\alpha} - B_1\operatorname{ctg}\alpha - \tfrac{1}{3}B_1\operatorname{ctg}^3\alpha - \tfrac{2}{3}B_2\frac{1}{\sin^3\alpha}$$

$$\mathfrak{C}_i = C_i\sin^i E \quad r = \frac{\sin E}{\sin\alpha} \quad \varkappa = 1 \quad A = A_0 + A_2.$$

Wir haben 11 Unbekannte $A_0\,A_1\,A_2\,B_1\,B_2\,C_0\,C_1\,C_2\,C_3\,C_4\,C_5$, also könnte man durch Beobachtung von 11 Werten J und Auflösung von 11 quadratischen Gleichungen diese berechnen. Die Resultate könnten aber unmöglich werden. Setzen wir dagegen $f(\alpha)$ als bekannt voraus, so haben wir lineare Gleichungen und können aus diesen die C berechnen. Aber auch hier können sich unmögliche Werte von C ergeben, nämlich solche, die $\delta(r)$ an gewissen Stellen negativ werden lassen.

III.

Die Helligkeitsverteilung unter Annahme von 3 bestimmten Phasenkurven.

Der erste, der den photometrischen Kalkul auf die Fatio'sche Anschauung anwandte, war Herr Schiaparelli.[1]) Er fand, dass unter Zugrundelegung der Lambert'schen Phasenformel, die nach dem damaligen Stande der Photometrie als unumstössliches Gesetz galt, die beobachtete Helligkeitsverteilung, namentlich aber der Gegenschein durchaus nicht zu erklären war. Nach ihm behandelte Herr Geelmuyden[2]) ebenfalls unter Voraussetzung der Lambert'schen Formel den Gegenstand und gelangte dabei zu unserer die verschiedenen Vernachlässigungen enthaltenden Endgleichung, nach der er auch die Helligkeitsverteilung längs der Ekliptik unter der Annahme $\delta = \frac{1}{\sqrt{r}}$ berechnete. Indess haben die Herren Professoren Lommel[3]) und Seeliger[4]) gezeigt, dass diese Lambert'sche Formel durchaus der theoretischen Begründung entbehrt, dass man vielmehr durch rein theoretische Erwägungen zu einem ganz anderen Beleuchtungsgesetz gelangt, dem sogenannten Lommel-Seeliger'schen. Herr Professor Seeliger[5]) war es auch, der zuerst aussprach, dass unter Annahme dieses Beleuchtungsgesetzes und gewisser anderer in der Natur vorkommender die Helligkeitsverteilung, namentlich aber auch der Gegenschein sehr wohl zu erklären sei. Versuche solcher Art, andere Beleuchtungsformeln der Berechnung zu Grunde zu legen, wurden in neuerer Zeit von Herrn Searle[6]) gemacht. Die Kolumnen 1, 3, 4, 6, 8 der hier

[1]) Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen.

[2]) Remarques p. 95, 104–106.

[3]) Wiedemanns Annalen der Physik und Chemie, 1880, Band 10, p. 449 ff.

[4]) Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft, Band 21, Heft 3, p. 216 ff.

[5]) Über allgemeine Probleme der Mechanik des Himmels, 1892, p. 26/27. Sitzungsberichte der mathem.-phys. Klasse der K. Bayer. Akademie der Wissenschaften, Band XXXI, 1901, Heft III: Über kosmische Staubmassen und das Zodiacallicht.

[6]) Researches p. 229–230.

folgenden Tafel sind direkt mit Abkürzung der Dezimalen seiner Abhandlung entnommen. Die Kolumne 5 ist die von Herrn Geelmuyden[7]) berechnete, die Kolumnen 2, 7 sollen eine Vorstellung davon geben, in welchem Masse die Annahme des Lommel-Seeliger'schen Beleuchtungsgesetzes die Resultate ändert.

E	$\delta = \frac{1}{r}$			$\delta = \frac{1}{\sqrt{r}}$	$\delta = \text{const}$		
	$f = \frac{}{1-\cos v}$	$f = 1-\sin\frac{\alpha}{2}\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}\log\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{4}$	$f = v$	$f = \frac{}{\sin v - \sin v\cos v}$	$f = \frac{}{1-\cos v}$	$f = 1-\sin\frac{\alpha}{2}\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}\log\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{4}$	$f =$
10^0	66	62	66	22	7	8	9
20	17	16	17	8	4.5	4	5
30	8	8	8	4	3	3	3
40	5	5	5	3	2	2	2
50	3	3	3	2	2	2	2
60	2.5	2.4	2.4	1.8	2	1	2
70	2.0	1.9	1.9	1.5	2	1	1
80	1.7	1.6	1.6	1.3	1	1	1
90	1.5	1.4	1.4	1.2	1	1	1
100	1.4	1.3	1.2	1.2	1	1	1
110	1.2	1.2	1.1	1.1	1	1	1
120	1.2	1.2	1.04	1.05	1	1	1
130	1.1	1.2	0.99	1.03	1	0.99	0.98
140	1.1	1.1	0.97	1.02	1.04	0.98	0.97
150	1.04	1.1	0.95	1.01	1.02	0.975	0.96
160	1.02	1.1	0.96	1.00	1.01	0.97	0.96
170	1.00	1.04	0.97	1.00	1.00	1.00	0.98
180	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Bei allen diesen Berechnungen war angenommen worden, dass der Zodiakalschwarm bis ins Unendliche reiche. Diese Annahme bedingt aber offenbar, dass die exzentrische Stellung der Erde in der Zodiakalscheibe, deren Zentrum ja die Sonne ist, nicht in demselben Maasse zur Geltung kommt wie bei Annahme einer endlichen Ausdehnung, dass also die Helligkeitsunterschiede längs des Zodiakalkreises nicht so gross werden. Es ist leicht zu erkennen, dass durch Engerziehen der Grenze grössere Helligkeitsunterschiede erzielt werden können, zugleich ist aber ersichtlich, dass dadurch die Helligkeit des Gegenscheins immer mehr geschwächt wird, so dass man, um ihn überhaupt noch sehen zu können, die Dichte vergrössern muss, der aber eine gewisse Grenze gezogen ist, über die sie nicht wachsen darf, da wir sonst einem

sternschnuppenartigen Hagel von Zodiakalkörperchen ausgesetzt wären und ausserdem die Planeten, die im Zodiakalschwarm sich befinden, sehr merkbare Störungen zeigen müssten. Wir nehmen daher einen mittleren Wert für den Radius der Zodiakalscheibe an, nämlich $a = 1.2$ astronomische Einheiten.

Schon die oben mitgeteilte Tafel von Herrn Searle liess erkennen, dass die Helligkeitsverteilung des Zodiakalkegels fast unabhängig von $f(\alpha)$, dagegen abhängig von $\delta(r)$ ist. Umgekehrt dass die Helligkeitsverteilung des Gegenscheins in geringem Maasse von $\delta(r)$ abhing, dagegen in weit grösserem Maasse von $f(\alpha)$, was auch von vornherein einleuchtet, da die Strahlen Δ in der Nähe von $E = 180^0$ alle gleich dichte Teile treffen. Herr Professor Seeliger[1]) bemerkt, dass in der Formel (2), die er in der zerlegten Form

$$J = \Gamma \int_{z \sin E}^{z} \frac{\delta(r)}{r} \frac{\varphi(\alpha)}{\cos \alpha} dr + \Gamma \int_{z}^{a} \frac{\delta(r)}{r} \frac{f(\alpha)}{\cos \alpha} dr \qquad E < 90^0$$

$$J = \Gamma \int_{z}^{a} \frac{\delta(r)}{r} \frac{f(\alpha)}{\cos \alpha} dr \qquad E > 90^0$$

schreibt, wo $\varphi(\alpha) = f(\alpha) + f(\pi - \alpha)$ gesetzt ist, der Verlauf der Helligkeit des Zodiakallichtes von $E = 90^0$ bis $E = 180^0$ wesentlich von der Funktion $\frac{f(\alpha)}{\cos \alpha}$ abhängt, also vom elementaren Beleuchtungsgesetz, dass also, wenn diese Funktion mit abnehmenden α fortwährend abnimmt, die Helligkeit gegen die Stelle des Gegenscheins fortwährend abnimmt, was für die Lambert'sche und Euler'sche Formel zutreffe, nicht aber für die Lommel-Seeliger'sche Formel.

Wir wollen daher genauer untersuchen, inwieweit man durch Variation von $f(\alpha)$, bei Annahme endlicher Ausbreitung der Zodiakalwolke, etwaigen Beobachtungen gerecht werden kann. Da derartige kleine Körper, wie sie die Zodiakalwolke doch sicher besitzt, meistens rauhe Oberflächen haben, wie sogar die viel grösseren Planetoiden, so wollen wir auch die bei den Planetoiden

[1]) Über kosmische Staubmassen und das Zodiacallicht, p. 287–290, erschienen in den Sitzungsberichten der mathem.-phys. Klasse der K. Bayer. Akademie der Wissenschaften, Band XXXI, 1901, Heft III.

vorkommenden Phasenkurven benützen, die die Eigenschaft besitzen, dass die Helligkeitsabnahme in Grössenklassen ausgedrückt proportional der Änderung des Phasenwinkels ist. Wir werden die Werte 0.01, 0.02, 0.03 (Abnahme in Grössenklassen für 1^0 Phasenwinkel) der Berechnung der Funktion $f(\alpha)$, die wir am besten in der Form $f(\alpha) = 1 - \mu \sin \alpha$ voraussetzen, zu Grunde legen, wir erhalten dann die Werte $\mu_1 = 0.48$, $\mu_2 = 0.84$, $\mu_3 = 1.12$. Mit diesen Werten ist die folgende Tafel, welche die Werte J_E bezw. $J_E : J_{180^0}$ gibt, unter Annahme der Werte $\delta =$ konst und $\delta = \frac{1}{r}$ berechnet. Die Wirkung des Erdschattens wurde dabei aus später zu ersehenden Gründen vernachlässigt.

Gegenschein.

$f(\alpha) = 1 - \mu \sin \alpha$ $\quad \mu_1 = 0.48$ $\quad \mu_2 = 0.84$ $\quad \mu_3 = 1.12$

	E	μ_1	μ_2	μ_3
$\delta =$ konst	180^0	0.1667 $(\frac{1}{6})$	0.1667 $(\frac{1}{6})$	0.1667 $(\frac{1}{6})$
	170	0.1559	0.1462	0.1387
	160	0.1492	0.1293	0.1139
	150	0.1463	0.1153	0.0912
$\delta = \frac{1}{r}$	180	0.1528 $(\frac{1}{7\frac{1}{2}})$	0.1528 $(\frac{1}{7\frac{1}{2}})$	0.1528 $(\frac{1}{7\frac{1}{2}})$
	170	0.1430	0.1341	0.1271
	160	0.1368	0.1183	0.1041
	150	0.1342	0.1057	0.0835

Unabhängigkeit der Helligkeitsverteilung von der Dichte δ.

	E	$\delta =$ konst	$\delta = \frac{1}{r}$
μ_1	180^0	1	1
	170	0.936	0.936
	160	0.895	0.895
	150	0.878	0.878
μ_2	180	1	1
	170	0.877	0.878
	160	0.776	0.774
	150	0.692	0.692
μ_3	180	1	1
	170	0.832	0.832
	160	0.684	0.682
	150	0.547	0.547

Abhängigkeit der Helligkeitsverteilung vom Beleuchtungsgesetz $f(\alpha)$.

	E	μ_1	μ_2	μ_3	Lommel-Seeliger'sches Gesetz
$\delta =$ konst	180^0	1	1	1	1
	170	0.936	0.877	0.832	1
	160	0.895	0.776	0.684	0.97
	150	0.878	0.692	0.547	0.975
$\delta = \frac{1}{r}$	180	1	1	1	1
	170	0.936	0.878	0.832	1.04
	160	0.895	0.774	0.682	1.1
	150	0.878	0.692	0.547	1.1

Die Tafel liefert also eine Bestätigung des oben Gesagten. Die Helligkeitsverteilung des Gegenscheins kann durch passende Wahl des Beleuchtungsgesetzes dargestellt werden. Umgekehrt kann man also aus den Beobachtungswerten z. B. $J_{150°}$ $J_{160°}$ $J_{170°}$ $J_{180°}$ unter Annahme einer bestimmten Dichtefunktion, die hier von keiner besonderen Bedeutung ist, z. B. $\delta = \text{konst}$ oder $\delta = \frac{1}{r}$, innerhalb des Intervalles $\alpha = 0°$ bis $\alpha = 30°$ das Beleuchtungsgesetz berechnen.

Wir ergänzen nun den Verlauf der 3 angenommenen (oder berechnet gedachten) Phasenkurven so, dass sie verschiedene Neigung besitzen und bequem durch $f(\alpha) = A_0 + A_1 \cos\alpha + B_1 \sin\alpha$ dargestellt werden können. Zum Vergleich ist auch die Phasenkurve des Lommel-Seeliger'schen Beleuchtungsgesetzes eingezeichnet, die wir genügend genau in der Form

$$0.477 + \tfrac{1}{2}\cos\alpha + 0.023\cos 2\alpha - 0.077\sin\alpha - 0.032\sin 2\alpha$$

schreiben könnten. Solange wir nur 3 Glieder nehmen, und mehr Glieder mitzunehmen hat bei unserer Art der rohen Abschätzung keinen Wert, herrscht natürlich der sinuskurvenartige Charakter noch vor, die Kurven neigen gegen das Ende zu ($\alpha = 100°$ bis $\alpha = 150°$) etwas stark, die Kurve f_3 sogar so stark, dass sie ihr Minimum schon bei $\alpha = 138°$ etwa erreicht, also dann wieder zunimmt. Aus naheliegenden Gründen wird dies aber nicht sehr schaden. Die Helligkeit der Teilchen, die einen so grossen Phasenwinkel besitzen, ist sehr gering, da ihre Phase sehr gering ist. Ausserdem ist der Bezirk, in dem sie sich befinden, ein sehr kleiner. Im Falle $\delta = \frac{1}{r}$ sind es auch noch sehr wenige Teile, da die Dichte in der Nähe der Erde sehr viel kleiner ist. Die Helligkeit dieser Teilchen liefert also nur einen kleinen Beitrag. Die Hauptmenge lieferte der mittlere Teil der Kurven (grosse Helligkeit der Teilchen ev. multipliziert mit grosser Dichte, grosse Menge). Ausserdem war noch zu bedenken, dass der Teil der Kurven von $\alpha = 150°$ bis $\alpha = 180°$ gar nicht in Betracht kommt, da man doch nur bis $E = 35°$ beobachten kann. Ja man wird wahr-

scheinlich sogar nur bis $E = 45^0$ wirklich brauchbare Beobachtungen erhalten können.

Mit den ergänzten Kurven, deren Gleichungen auf der Tafel mitgeteilt sind, erhielt man unter Voraussetzung konstanter Dichte dann folgende Werte $J_E : J_{35^0}$.

Helligkeitsverteilung von $E = 35^0$ bis $E = 75^0$.

E	f_1	f_2	f_3	f_4
35^0	1	1	1	1
40	0.83	0.82	0.81	0.83
45	0.70	0.69	0.67	0.70
50	0.59	0.58	0.56	0.59
55	0.51	0.50	0.48	0.51
60	0.44	0.43	0.41	0.43
65	0.38	0.37	0.35	0.37
70	0.33	0.32	0.31	0.33
75	0.29	0.29	0.27	0.28

$f_1(\alpha) = 0.44 + 0.41 \cos\alpha - 0.08 \sin\alpha$
$f_2(\alpha) = 0.39 + 0.33 \cos\alpha - 0.19 \sin\alpha$
$f_3(\alpha) = 0.33 + 0.24 \cos\alpha - 0.22 \sin\alpha$
$f_4(\alpha) = 0.7 - 0.2\,\alpha \qquad 0.2 = \mathrm{tg}\, 11^0$

$\delta = \text{konst}$

Geradezu auffallend ist der geringe Einfluss der Funktion $f(\alpha)$, die Helligkeitswerte unterscheiden sich in ihrem Verhältnis zueinander kaum merkbar. Aus dieser merkwürdigen Tatsache kann aber eine sehr wichtige Folgerung gezogen werden. Vorausgesetzt, dass die Zodiakalwolke bis zur Sonne sich erstreckt und die Dichte mit der Entfernung von der Sonne abnimmt, muss J_B, das beobachtete J, steiler abnehmen als J_R, das unter der Annahme $\delta = \text{konst}$ berechnete J. Es muss also die Differenz $J_B - J_R$ immer wachsen resp. abnehmen, darf aber auch teilweise konstant sein. Wenn man also die Kurve J_B längs der Ordinaten verschiebt, so dass zwei ganz beliebige Punkte der beiden Kurven zusammenfallen, so darf J_B nicht auf einer Seite von J_R liegen, sondern muss sie vielmehr schneiden. Sie kann aber auch mit ihr teilweise zusammenfallen, darf aber nie umkehren. Das streckenweise Zusammenfallen bedeutet dann, dass streckenweise δ annähernd konstant ist. Trifft diese Bedingung nicht zu, so könnte die Erscheinung, die Richtigkeit unserer Voraussetzungen angenommen, nicht auf Grund der Hypothese von Fatio erklärt werden. Diese Voraussetzungen sind aber: 1) geringe Dichte, (Vernachlässigung der Exponentialfunktion!), 2) Ausdehnung der

Zodiakalscheibe bis zur Entfernung $a = 1.2$, 3) diskusförmige Gestalt der Zodiakalwolke, 4) Lage in der Ekliptik, 5) $\delta(r)$ nur von r abhängend und von der Sonne aus immer abnehmend, 6) „kontinuierliche" Ausdehnung, 7) ungefähre Gleichheit der Albedowerte.

In Ermanglung eines Beobachtungsmateriales könnte man daran denken, die völlig sichere Tatsache zu benützen, dass die scheinbare von der Exstinktion nicht befreite Flächenhelligkeit jedenfalls nicht zunimmt (genau gilt dies nur von einer gewissen Höhe über dem Horizont an) mit zunehmender Elongation. Nimmt man sie also als konstant an, dann ist die wirkliche, von der Exstinktion befreite Flächenhelligkeit eine abnehmende Funktion der Elongation, und man kann sagen, sie wird im allgemeinen in Wirklichkeit stärker abnehmen. Unter Annahme eines bestimmten Beleuchtungsgesetzes, das in geringeren Elongationen ja keine besondere Bedeutung hat, wird man dann auch für die Dichteabnahme eine Grenze bekommen, man wird dann sagen können, die Dichte wird im allgemeinen stärker abnehmen. Unter einer plausiblen Annahme über die Neigung des Zodiakallichtes gegen den Horizont und der Elongation der Sonne unter dem Horizont, erhielt man für drei Elongationen

$$\left.\begin{array}{l} E = 35^0 \\ E = 45^0 \\ E = 55^0 \end{array}\right\} \text{ die wirklichen Flächenhelligkeiten } \left\{\begin{array}{l} J = 3.619 \\ J = 1.777 \\ J = 1.360 \end{array}\right.$$

$$f(a) = 0.44 + 0.41 \cos a - 0.08 \sin a.$$

Man fand dann mit Anwendung der oben mitgeteilten Formel

$$\int_{a_0}^{\pi - E} f(a)\, \delta(r)\, da = \Sigma I_i \mathfrak{A}_i$$

die gesuchten Koeffizienten C_i in der Dichteformel, die in diesem Falle also lautet

$$\delta = 98 - 228\, r + 123\, r^2,$$

also ein unmögliches Resultat, da in der Entfernung $r = 0.7$ schon die Dichte negativ wird. Der Grund besteht eben darin, dass die oben verlangte Bedingung, dass die Kurve J_B nicht auf einer Seite der Kurve J_R liegen soll, nicht erfüllt ist.

Anschliessend an diesen noch etwas willkürlichen Versuch möchten wir eine Beobachtungsmethode nicht unerwähnt lassen, die vielleicht, wenn auch die instrumentellen Hilfsmittel noch länger versagen, doch zu einem gewissen Ziel führt. Man beobachtet nur den Teil des Zodiakallichtes, der jeweilig in einer bestimmten Höhe über dem Horizont zwischen zwei zum Horizont parallel gezogenen Kleinkreisen liegt. Kann man nun sagen, dass die Helligkeit in diesem Streifen sicher nicht zunimmt mit zunehmender Elongation für eine grössere Strecke des Zodiakallichtes, das durch diesen Streifen hindurchzieht, so hat man, wenn man nun die Exstinktion berücksichtigt, eine ziemlich gleichförmig abnehmende Funktion, die sich von der Wahrheit annähernd gleichstark entfernt, was im obigen Beispiel nicht der Fall war. Verläuft die so erhaltene Kurve J_B gleich steil wie die Kurve J_R, so würde das heissen, die Dichte wäre höchstens konstant, eher abnehmend als zunehmend, ist sie aber durchweg steiler, so heisst das, die Dichte nimmt von der Sonne aus ab. Es ist klar, dass man, wenn man den Streifen in geringerer Höhe über dem Horizont annimmt, eine viel steilere Kurve J_B erhält, weil die Absorption eben eine stärker sich ändernde ist. Es wird sich also darum handeln, durch Beobachtung festzustellen, wie nahe man den Streifen dem Horizont annehmen kann, wobei also die ihn durcheilende Strecke des Zodiakallichtes nicht eine mit der Elongation zunehmende Helligkeit besitzen darf. Man wird dann eine Kurve J_B schliesslich erhalten, von der man sagen kann, steiler als sie darf die tatsächliche Helligkeit nicht abnehmen in ihrem Gesamtverlauf, nur in ihrem Einzelverlauf darf dies stattfinden. Es wird sich dann weiter zeigen, dass in je grösserer Höhe der Streifen angenommen wird, ein desto grösserer Teil des Zodiakallichtes ihn durchlaufen darf, ohne die verlangte Bedingung zu verletzen, umgekehrt in je geringerer Höhe der Streifen angenommen wird, ein desto geringerer Teil ihn durchlaufen darf, wenn man annimmt, dass die Steilheit tatsächlich sich etwas ändert.

Man darf wohl es als selbstverständlich ansehen, dass die in der Zodiakalwolke sich bewegenden Planeten ihre Bahnen von Zodiakalkörperchen gesäubert haben und auch halten, wenn durch Störungen und Zusammenstösse solche in ihre Bahnen geworfen

werden. Es fragt sich, ob diese Zodiakalkanäle einen Einfluss auf die Helligkeitsverteilung auszuüben vermögen. Nehmen wir zunächst nur einen, den Zodiakalkanal der Erde, der durch die Mitwirkung des Mondes eine ziemliche Breite besitzt. Es möge also der Raum von r = Entfernung Sonne-Erde — 64 Erdradien bis r = Entfernung Sonne-Erde + 64 Erdradien von Zodiakalmasse frei sein.

Der Einfluss auf die Helligkeitsverteilung des Gegenscheins wird nur gering sein, er wird sich darin zeigen, dass die Abnahme der Helligkeit vom Gegenpunkt aus langsamer erfolgt, wie auch eine Vergleichung der folgenden Tafel, die wiederum die Werte J_E resp. $J_E : J_{180°}$ gibt, mit der früheren annähernd ergibt.

Gegenschein, Zodiakalkanal.

$f(\alpha) = 1 - \mu \sin \alpha \quad \mu_1 = 0.48 \quad \mu_2 = 0.84 \quad \mu_3 = 1.12.$

	E	μ_1	μ_2	μ_3
δ = konst	180°	0.1639	0.1639	0.1639
	170	0.1534	0.1439	0.1365
	160	0.1467	0.1272	0.1120
	150	0.1439	0.1135	0.0898
$\delta = \frac{1}{r}$	180	0.1500	0.1500	0.1500
	170	0.1403	0.1317	0.1248
	160	0.1344	0.1165	0.1026
	150	0.1318	0.1039	0.0822

	E	μ_1	μ_2	μ_3
δ = konst	180°	1	1	1
	170	0.935	0.877	0.833
	160	0.895	0.776	0.684
	150	0.878	0.692	0 548
$\delta = \frac{1}{r}$	180	1	1	1
	170	0.935	0.877	0.832
	160	0.896	0.777	0.684
	150	0.879	0.693	0.548

Der Einfluss auf die Helligkeitsverteilung in der Nähe von $E = 90^0$ wird dagegen ein ziemlich beträchtlicher sein. Denn die Strahlen Δ_0 werden eine lange Strecke weit innerhalb des Zodiakalkanales verlaufen. Da es sich nur um eine ungefähre Abschätzung handelt, so wurde der Einfachheit halber $f(\alpha)$ in der Form $f_1'(\alpha) = 0.97 - 0.4000\ \alpha$ angenommen und die Dichte $\delta(r) =$ konst gesetzt. Es ergab sich dann folgende Tafel

Helligkeitsverteilung von $E = 72^0$ bis $E = 90^0$.

$f_1'(\alpha) = n_1 - m_1\,\alpha \qquad n_1 = 0.97 \qquad m_1 = 0.4000 \qquad \delta(r) =$ konst.

E	J_E ohne Zodiakalkanal	J_E mit Zodiakalkanal	Differenz	Schwächung %	$\frac{J_E}{J_{72^0}}$ ohne Zodiakalkanal	$\frac{J_E}{J_{72^0}}$ mit Zodiakalkanal
72^0	0.4182	0.4080	0.0102	2.4	1	1
76	0.3768	0.3640	128	3.4	0.90	0.89
80	0.3405	0.3229	176	5.2	0 81	0.79
82	0.3241	0.3021	220	6.8	0.77	0.74
84	0.3088	0.2786	302	9.8	0.74	0.68
86	0.2944	0.2345	599	20.3	0.70	0.58
88	0.2811	0.2401	410	14.6	0.67	0.59
90	0.2687	0.2424	263	9.8	0.64	0.59
92						0.59
94						0.58

In der Tat sieht man, dass die Schwächung über 20% ansteigt, am grössten ist sie für den Strahl Δ_0, der Tangente der inneren Zodiakalscheibe ist, in unserem Fall also ungefähr für $E = 85^0\ 45'$. Man könnte hier an die Grenze des Zodiakallichtes denken, z. B. die Beobachtungen von Weber ergeben eine Grenze bei $E = 84°3$. Dennoch kann man die Helligkeitsabnahme keine bedeutende nennen. Im Gegenteil die Verteilung der Helligkeit zeigt die Eigentümlichkeit, dass die Helligkeit ungefähr von $E = 86^0$ bis $E = 94^0$ nahezu konstant bleibt, im Falle $\delta = \frac{1}{r}$ wird sie dann wohl ein wenig abnehmen. In dieser Elongation endigt aber die Spitze des Zodiakalkegels. Es müsste also darnach die Spitze ungemein langsam an Helligkeit abnehmen, was ja auch mit den Beobachtungen übereinstimmt.

Wir haben oben gesehen, dass von $E = 0^0$ bis $E = 90^0$ die Dichte δ die Helligkeitsverteilung hauptsächlich bestimmt, von $E = 90^0$ bis $E = 180^0$ dagegen das Beleuchtungsgesetz. Aus Rechnungen empirisch nachgewiesen haben wir das aber noch nicht für Elongationen von $E = 90^0$ bis $E = 150^0$ und doch ist diese Partie von besonderem Interesse, weil hier die Spitze des Zodiakalkegels endigt bezw. in das Zodiakalband ausläuft. Für unsere Zwecke wird es genügen die Helligkeitsverteilung von $E = 90^0$ bis $E = 120^0$ zu untersuchen. Wir wollen wieder die Dichtegesetze $\delta = \text{konst}$ und $\delta = \frac{1}{r}$ der Berechnung zu Grunde legen und die Phasenformel in der Form $f'(\alpha) = n - m\,\alpha$ voraussetzen, wobei

$n_1 = 0.97$ $\quad n_2 = 0.77$ $\quad n_3 = 0.59$

$m_1 = 0.4010 (= \text{tg}\,22^0)$ $\quad m_2 = 0.36285 (= \text{tg}\,20^0)$ $\quad m_3 = 0.3056 (= \text{tg}\,17^0)$.

Die Gerade $f_1'(\alpha)$ verbindet die Punkte

$f_1'(30^0) = 0.76$ und $f_1'(90^0) = 0.34$

Die Gerade $f_2'(\alpha)$ verbindet die Punkte

$f_2'(30^0) = 0.58$ und $f_2'(90^0) = 0.20$

Die Gerade $f_3'(\alpha)$ verbindet die Punkte

$f_3'(30^0) = 0.43$ und $f_3'(90^0) = 0.11$.

Wir erhalten dann folgende Tabelle

Helligkeitsverteilung von $E = 90^0$ bis $E = 120^0$.

	ohne Zodiakalkanal			mit Zodiakalkanal		
	E	$\delta = \text{konst}$	$\delta = \frac{1}{r}$	E	$\delta = \text{konst}$	$\delta = \frac{1}{r}$
$m_1\ n_1$	90^0	0.2680	0.2507	90^0	0.2419	0.2244
	100	0.2189	0.2029	100	0.2127	0.1965
	110	0.1867	0.1720	110	0.1829	0.1682
	120	0.1665	0.1529	120	0.1635	0.1500
$m_2\ n_2$	90	0.1794	0.1673	90	0.1637	0.1515
	100	0.1506	0.1394	100	0.1466	0.1353
	110	0.1320	0.1215	110	0.1294	0.1189
	120	0.1207	0.1108	120	0.1185	0.1085
$m_3\ n_3$	90	0.1221	0.1086	90	0.1079	0.0996
	100	0.1048	0.0934	100	0.0986	0.0908
	110	0.0938	0.0838	110	0.0894	0.0821
	120	0.0872	0.0784	120	0.0839	0.0786

$J_E/J_{90°}$ bezw. $J_E/J_{180°}$.

	E	δ = konst		$\delta = \frac{1}{r}$	
	90^0	1	1.61	1	1.64
	100	0.82	1.31	0.81	1.33
	110	0.70	1.12	0.69	1.13
	120	0.62	1.00	0.61	1.00
m_1	n_1				
	150		0.88		0.88
	160		0.90		0.89
	170		0.94		0.94
	180		1		1
	90	1	1.08	1	1.10
	100	0.84	0.90	0.83	0.91
	110	0.74	0.79	0.73	0.80
	120	0.67	0.72	0.66	0.73
m_2	n_2				
	150		0.69		0.69
	160		0.78		0.77
	170		0.88		0.88
	180		1		1
	90	1	0.73	1	0.71
	100	0.86	0.63	0.86	0.61
	110	0.77	0.56	0.77	0.55
	120	0.71	0.52	0.72	0.51
m_3	n_3				
	150		0.55		0.55
	160		0.68		0.68
	170		0.83		0.83
	180		1		1

	E	δ = konst		$\delta = \frac{1}{r}$	
	90^0	1	1.47	1	1.50
	100	0.88	1.30	0.88	1.31
	110	0.76	1.12	0.75	1.12
	120	0.68	1.00	0.67	1.00
m_1	n_1				
	150		0.88		0.88
	160		0.89		0.90
	170		0.94		0.94
	180		1		1
	90	1	1.00	1	1.01
	100	0.90	0.89	0.89	0.90
	110	0.79	0.79	0.78	0.79
	120	0.72	0.72	0.72	0.72
m_2	n_2				
	150		0.69		0.69
	160		0.78		0.78
	170		0.88		0.88
	180		1		1
	90	1	0.66	1	0.66
	100	0.91	0.60	0.91	0.60
	110	0.83	0.55	0.82	0.55
	120	0.78	0.51	0.77	0.51
m_3	n_3				
	150		0.55		0.55
	160		0.68		0.68
	170		0.83		0.83
	180		1		1

Man sieht, dass die Dichte für $E = 90^0$ noch ein wenig, für die anderen Elongationen aber immer weniger in Betracht kommt. Auch bestätigt sich die oben gemachte Wahrnehmung, dass bei Vorhandensein des Zodiakalkanals die Spitze des Zodiakallichtes sanfter auslaufen muss, indem auch in diesen Elongationen die Helligkeit dann langsamer abnimmt. Nach Herrn Backhouse ist die Helligkeit des Gegenscheins gleich der des Zodiakallichtes in der Elongation 100^0 oder 110^0, nach unserer Kurve $f_1'(\alpha)$ wäre dies der Fall in der Elongation 120^0, nach der Kurve $f_2'(\alpha)$ schon

in der Elongation 90°. Um eine Übereinstimmung zu erreichen, hätte man also eine Kurve zwischen diesen zu nehmen.

Noch eine andere Hypothese — von Houzeau wird sie Hooke zugeschrieben — ist hier kurz zu erwähnen, um so mehr als sie auch von den Zodiakalforschern Heis, Jones aufgestellt und neuerdings von Herrn Barnard wieder aufgenommen wurde. Auch sie nimmt an, dass das Zodiakallicht reflektiertes Sonnenlicht einer kosmischen Staubwolke ist, nur verlegt sie das Zentrum in die Erde und scheint eher eine Ringscheibe als eine einfache Scheibe vorauszusetzen.

Betrachten wir die Punkte auf einem Kreise mit dem Radius Δ um die Erde, so ist für sie

$$J_{d\Delta} = \delta(\Delta)\, d\Delta \left(\frac{f(\alpha)}{r^2}\right),$$

wo die Dichte $\delta(\Delta)$, die nur von Δ abhängt, längs des Kreises Δ konstant ist, somit also auch $\delta(\Delta)\, d\Delta$. $J_{d\Delta}$ hängt also längs des Kreises Δ nur noch von $\frac{f}{r^2}$ ab. Können wir nun für eine Reihe aufeinander folgender Kreise beweisen, dass $J_{d\Delta}$ von $E = 180^0$ bis $E = 0^0$ abnimmt (oder gar bloss von $E = 90^0$ bis $E = 0^0$), so nimmt auch die Summe $J_{d\Delta}$ oder was dasselbe ist $\int J_{d\Delta}$ von $E = 180^0$ bis $E = 0^0$ ab, eine Helligkeitsverteilung, die der Beobachtung widerspricht.

In dem Ausdruck $\frac{f}{r^2}$ ist nun

$\frac{1}{r^2}$ zunehmend, wenn α zunimmt, bezw. E abnimmt,

f abnehmend, „ α „ „ E „ .

So lange nun r nicht zu sehr variiert, wird $\frac{f}{r^2}$ eine mit wachsenden α (mit abnehmender Elongation) abnehmende Funktion von α sein. Es fragt sich, innerhalb welcher Grenzen r variieren darf, wenn $\frac{f}{r^2}$ noch abnehmen soll? Da nun das Maximum von f und r (für $\alpha = 0^0$) 1 und $1 + \Delta$, das Minimum (für $\alpha = 180^0$) 0 und $1 - \Delta$ ist und beide Funktionen immer abnehmen, so ist

$$f < r \text{ für alle } \alpha.$$

also auch

$$f < r^2 \text{ für alle } \alpha.$$

Soll nun $\frac{f}{r^2}$ eine abnehmende Funktion von α sein, so muss

$$\left(\frac{f}{r^2}\right)' = \frac{r^2 f' - f(r^2)'}{r^4} = \frac{f'(r^2)' - r^2 f}{r^4}$$

negativ sein, also

$$f'|(r^2)'| < r^2 |f'|.$$

Da aber $f < r^2$ ist, so dürfen wir auch schreiben

$$|(r^2)'| \leqq |f'|,$$

$|(r^2)'|$ dürfte sogar noch etwas grösser sein als $|f'|$, aber man kann ohne weiteres nicht sagen, um wie viel. Für die Berechnung von $(r^2)'$ erhält man

$$(r^2)' = -2\, r\, \Delta \sin\alpha \frac{r}{r - \Delta \cos\alpha}$$

$$r \sin\alpha = \sin E.$$

In der Kurventafel sind nun für die 2 Fälle $\Delta = 0.1$, 0.2 astronomische Einheiten die Kurven r^2 für das Intervall $E = 40^0$ bis $E = 80^0$ konstruiert und man sieht, dass die Kurve r^2 für $\Delta = 0.1$ weniger steil verläuft als alle 3 Kurven f, dass die Kurve r^2 für $\Delta = 0.2$ ungefähr gleich steil verläuft wie f_1 und f_2, aber etwas steiler als f_3 (wobei überall nur das Kurvenstück von $\alpha = 70^0$ bis $\alpha = 110^0$ in Betracht gezogen wurde). Mit Ausnahme des letzten Falles ist also die obige Bedingung erfüllt, doch hat diese Ausnahme insofern keine Bedeutung, als einmal die Kurve f_3 sehr unwahrscheinlich, zum anderen die Differenz der Neigung gering, endlich die obere Ungleichung etwas überschritten werden darf und die anderen Kreise Δ zusammen schon die Helligkeitsverteilung bedingen. Man kann also sagen, dass eine Zodiakalscheibe, die sich bis zu $\Delta = 0.2$ Erdbahnradien ausdehnt, eine Helligkeitsverteilung zeigt, die der Beobachtung widerspricht.

Anhang.

Vielfach sind die Verdienste der früheren Beobachter, namentlich der Cassini, Jones, Brorsen in Vergessenheit geraten, es schien daher angezeigt zu sein, diese nicht nur besonders hervorzuheben, sondern womöglich die Beobachter mit ihren eigenen Worten sprechen zu lassen, um so mehr, als manche ihrer Schriften schwer zu beschaffen sind (oder es sich nicht der Mühe lohnt wegen einer Einzelheit sie zu beschaffen) und der Sinn ihrer Worte häufig noch nicht völlig klar gestellt ist. Um aber die Übersicht der Darstellung nicht zu zerstören, haben wir die zum Teil sehr langen Zitate oben nicht mitgeteilt, was nun nachträglich geschehen soll. Ebenso schien es nötig zu sein, die Ansichten Cassini's über den Ursprung des Zodiakallichtes genau zu entwickeln, um endlich einmal die Meinung zu widerlegen, als habe er die überaus klare Hypothese von Fatio gefasst.

No. 1. Beobachtung von Childrey.

There is another thing, which I recommend to the observation of mathematical men, which is: that in February, and for a little before, and a little after that month (as I have observed several years together) about 6 in the evening, when the twilight hath almost deserted the horizon, you shall see a plainly discernible way of the twilight striking up towards the Pleiades, and seeming almost to touch them. It is so observed any clear night, but it is best illac nocte. There is no such way to be observed at any other time of the year (that I can perceive), nor any other way at that time to be perceived darting up elsewhere. And I believe it hath been, and will be constantly visible at that time of the year. But what the cause of it in nature should be, I cannot yet imagine, but leave it to further enquiry.

No. 2. Pulsationen nach Jones.

The changes were a swelling out, laterally and upwards, of the Zodiacal Light, with an increase of brightness in the Light itself; then, in a few minutes, a shrinking back of the boundaries,

and a dimming of the Light: the latter to such a degree as to appear, at times, as if it was quite dying away: and so back and forth for about three — quarters of an hour: and then a change still higher upwards, to more permanent bounds.

No. 3. Pulsationen nach Cassini.

Le 15 Octobre. 1687, à une heure et trois quarts du matin, à l'observatoire, la lumiere se voyait faiblement sur le col du Lion et sur l'horrisse, dont les étoiles les plus lulsantes paraissaient à son terme meridional, et elle semblait s'étendre presque jusqu'a la tête meridionale des Jumeaux. La partie plus éclatante se terminait à un dégré et demi de l'horrisse. A 2 heures le coeur du Lion paraissait à un tiers de la largeur de la lumière, qui s'étendoit jusqu'à l'étoile la plus claire du col.

A 3 heures 40 minutes la lumiere était fort claire au-dessous du coeur du Lion, jusqu'à un dégré de hauteur, sur l'horison. Elle paraissait un peu concave du coté du midi, et plus convex du côté du septentrion.

A 4 heures et un quart le terme austral de la lumiere était presque perpendiculaire à l'horison, et le boréal était incliné vers le midi.

No. 4. Variationen nach Jones.

„As a general fact, late in the evening the Stronger Light would melt away gradually, or rather would seem to be merged in the Diffuse Light, which alone would be left, the latter at first with a degree of brightness greater than it lately possessed; and then the Diffuse would pass away, in the increasing night. In the morning, severe was the case" — „the gradation in the strength of the Zodiacal Light was not only lateral from the centre outward, but also from the horizon upward to the terminating point. But the transition, in this latter case, was by insensible degrees, except in the cases of a more intense light near the horizon" — „These changes — are greatest and most striking when the ecliptic has declined considerably towards the horizon" — „that the changes in latitude, from high north to high south, were of the utmost consequence, as regards results."

No. 5. Variationen nach Cassini.

„Je doutay si elle (la lumiere) n'avoit pas un peu de mouvement particulier vers le Septentrion: car les deux plus luisantes d'Aries qu'elle frisoit au commencement par son costé septentrional, furent ensuite comprises dans cette clarté; ce qui a esté depuis confirmé par les observations des jours suivans. Mais je ne pus pas en estre entierement asseuré ni alors ni aprés plusieurs jours, parce que l'extrémité de cette clarté estoit de tous costez trop douteuse, s'affoiblissant peu à peu: de sorte qu'il estoit extrémement difficile de la déterminer precisément." — „J'ay donc reconnu dans ces dernieres observations avec plus d'évidence que dans les précedentes, que cette clarté s'avançoit un peu vers le Septentrion." — „Outre que les divers degrez de la clarté de l'air selon la distance au crepuscule pendant les jours suivans, la faisoient paroistre plus ou moins étendüe. C'est pourquoy à la premiere apparition du soir qui arrivoit une heure aprés le coucher du Soleil, la clarté plus sensible ne s'etendoit que jusques aux plus luisantes d'Aries en largeur, & aux Pleiades en longueur, & un peu plus tard elle enfermoit les unes et les autres; mais quant au milieu, autant qu'on le pouvoit déterminer à la veüe, elle paroissoit toûjours au mesme endroit vers le milieu de la constellation d'Aries."

No. 6. Änderung der Neigung nach Cassini.

„Au mois de Mars cette lumiere déclinoit déjà de l'Ecliptique vers le Septentrion, comme il paroist de ce qu'estant dirigée au Soleil, sa longueur s'étendoit sur les Pleiades; & au mois d'Avril la déclinaison de cette lumiere vers le Septentrion estoit augmentée." — „Nostre l. se voioit disposée de la mesme maniere (wie die Bahnebene der Venus erscheinen würde) dans nos premieres observations du mois de Mars, estant alors divisée par l'écliptique, de sorte que la plus grande partie de sa largeur s'etendoit du costé du septentrion sur les constellations d'Aries et du Taureau, qui sont aussi divisées inégalement par l'écliptique; la plus grande partie de leur largeur s'étendoit du costé du septentrion" — „nostre l. que nous avons veüe au mois de Septembre tantost partagée également par l'écliptique, tantost inégalement; de sorte

qu'elle s'étendoit plus du costé du septentrion, que du costé du midy. Ainsi il faut avoüer qu'elle ne fait pas presentement toutes les mesmes variations apparentes que ferait l'orbite de Venus, si elle estoit visible."

No. 7. Anderung der Neigung nach Jones.

1. That when I was in a position north of the ecliptic, the main body of the Zodiacal Light was on the northern side of that line.
2. When I was south of the ecliptic, the main body of the Zodiacal Light was on its southern side.
3. When my position was near or on the ecliptic, this Light was equally divided by the ecliptic, or nearly so.
4. When, by the earth's rotation on its axis, I was, during the night, carried rapidly to or from the ecliptic, the change of the apex, and of the direction of the boundary-lines, was equally great, and corresponded to my change of place.

No. 8. Gegenschein nach Brorsen.

Man sieht den Gegenschein nicht allein um die Zeit des Frühlings-, sondern auch des Herbstäquinoctiums, zur ersteren Zeit augenfälliger. Der erste schwache Schein zeigt sich bereits im Februar und nimmt dann während des März und April an Ausdehnung und Helligkeit stets zu; der bei weitem kleinere und schwächere Herbstgegenschein lässt sich im September, October, November wahrnehmen.

No. 9. Gegenschein nach A. v. Humboldt?

Pendant que la lumière était très vive à l'ouest, nous observâmes constamment à l'est et c'est là sans doute un phénomène bien frappant, une lueur blancheâtre également pyramidale; cette dernière était tellement forte, qu'elle augmentait à cet air de vent la clarté du ciel, de la manière la plus frappante. Les matelots mêmes furent émerveillés de cette double lueur à l'ouest et à l'est; et j'incline à croire que cette lueur blanche à l'est était le reflet de la véritable lumière zodiacale au couchant. Aussi toutes les deux disparaissaient elles en même temps.

No. 10. Gegenschein nach Jones?

I was also fortunate enough to be twice near the latitude of 23° 28′ north, when the sun was at the opposite solstice, in which position the observer has the ecliptic at midnight, at right angles with his horizon, and bearing east and west. Whether the latter circumstance affected the result or not, I cannot say; but I then had the extraordinary spectacle of the Zodiacal-Light, simultaneously at both east and west horizons, from 11 to 1 o'clock, for several nights in succession.

No. 11. Lichtbänder nach Herrn Searle.

(I) — a very faint, but permanent, band of light extends from Aquila to the Pleiades-As I see it, its width is about 5°, and a line drawn along the middle of the band will begin between α and δ Aquilae, and pass between α and β Aquarii, nearly through $\varkappa$ Aquarii; thence, crossing the ecliptic, it will pass near 27 Piscium and ν Piscium, and will end, after recrossing the ecliptic, in the faint extension of the Milky Way towards the Pleiades. The color of this luminous band seems to me whitish, not yellowish like the brighter parts of the zodiacal light.

(II) A somewhat similar band connects Coma Berenices with the Milky Way, passing southward to τ Leonis, and thence along the zodiac, but still inclining towards its southern side. After passing o Leonis, it turns more northward and ends at Praesepe, which is more obviously connected with the Milky Way by a rather bright region.

(III) a faint permanent band of light is situated immediately to the south of β and η Virginis, nearly parallel to the line joining those stars, and extending as far α Virginis. Its width is only two or three degrees. It has perhaps less resemblance to the light of the milky-way, and more to the fainther portions of the ordinary zodiacal light, than the bands mentioned in my previous communications.

No. 12. Zodiakalband nach Brorsen.

Ferner zeigten die Beobachtungen von Herrn Brorsen, dass der Frühlingsgegenschein um die Mitte April sich durch einen anfänglich sehr matten, dann allmählich heller werdenden Lichtstreifen mit dem westlichen Zodiacallicht verbindet. Dagegen erscheint in der ersten Hälfte des November der Gegenschein längs der Ekliptik durch einen schwachen früher nicht dagewesenen Lichtgürtel, später durch wachsende Helligkeit und mehr hervortretende Basis allmählich in das bekannte Abendzodiacallicht übergeht.

No. 13. Zodiakalband nach Herrn Barnard.

In Mai (im Original steht July) the „Gegenschein“ is small and round, less than 10° in diameter. After crossing the Milky Way in the Scorpion and Sagittarius it is largest — some 20° in diameter; round and gradually brighter in the middle; dense and hazy. It is then not connected with any zodiacal band. It remains thus without special change until September and October when near the vernal equinox.

(I) After passing the vernal equinox in the latter part of September and first of October, a perceptible change takes place in its form,

(IV) There seems to be a marked periodical change in the form of the Gegenschein in the first part of October,

Here it becomes elongated along the ecliptic,

(I) a faint zodiacal band becomes visible, extending from it some distance on each side, and the counterglow assumes an elliptical form; later it becomes more flattened and the band of light more distinct, until

(II) it becomes very much elongated along the ecliptic

(IV) when it rather rapidly becomes elliptical or extended along the ecliptic. There seems to be a similar change in the first part of April, though this is not so well established as the October change.

and is connected with a narrow zodiacal band, which is some 4° in width. After this Gegenschein narrows down very much, until

by November and February it is reduced to simply a swelling and intensification of the zodiacal band, and is only 5° or 6° in breadth, north and south; and in general it remains thus until in April.

(I) until finally this band is seen at midnight connecting the evening and morning zodiacal lights, and the counterglow a mere swelling, scarcely denser and but little broader than the band. I suspect that if it were followed longer it would prove to be entirely absorbed in this band of light.

At two points in its path it is lost in the Milky-Way — in Sagittarius and in Gemini.

No. 14. Zodiacalband nach Jones?

I see here every night, and all through the night, a luminous arch, from east to west, quite across the sky. This arch, 20° in wide, is visible at all hours, when the sky is clear, but is brightest and most striking when the ecliptic is vertical: at which times it lookes almost like another Milky-Way. It is very evidently the Zodiacal Light.

No. 15. Die Hypothesen Cassini's.

Die Abhandlung ist keine zusammenhängende, man darf nur die verschiedenen Überschriften lesen. Seine Beobachtungen hat er aus dem Journal des scavans einfach herübergenommen und Betrachtungen daran geknüpft. Dabei lernt er die Hypothese von Fatio kennen, die ihm sehr imponiert und die er gern für sich in Anspruch nehmen möchte. In dem Wirrwarr seiner Hypothesen kommt einmal etwas Ähnliches vor, ehe er die Hypothese von Fatio kennt (seine späteren Hypothesenbetrachtungen sind alle mehr oder weniger von ihr beeinflusst). Er sucht nun die Sache so darzustellen, als ob er diese Hypothese auch gefasst, aber wieder fallen gelassen habe. Auch der Konsequenzen dieser Hypothese ist er sich nicht bewusst und vor allem fehlt ihm die mechanische Vorstellung. Er kann sich deshalb auch keine feste Ansicht bilden, sie ist am Schlusse ebenso unklar wie am Anfang. Um dies zu zeigen, ist es wohl das Beste, in demselben

Durcheinander die einzelnen Punkte zu bringen, wie er sie niedergeschrieben.

Vor allem glaubt Cassini, im Gegensatz z. B. zu Jones, dass man das Zodiakallicht in seiner wirklichen Ausdehnung sieht, indem er grossen Wert auf die Form und ihre Veränderungen legt. Die Tatsache, dass die Neigung vom März zum April und ebenso im September sich vergrössert, erinnert ihn an die gleichzeitige Vergrösserung der Neigung des Sonnenäquators, sichtbar durch die Bewegung der Sonnenflecken. Er stellt also die Hypothese auf, das Licht liege in der Ebene des Sonnenäquators, sei es dass es nun selbstleuchtend sei, oder dass es die Strahlen reflektiere oder breche (umbiege), die von der Sonne kommen oder irgend einem anderen leuchtenden Körper (er denkt an die Dämpfe in der Luft).

Aus Gründen der Perspektive ergibt sich aber, dass der Sonnenäquator uns als eine Ellipse erscheint von veränderlicher kleiner Axe. Diese schrumpft zu einer Linie zusammen, wenn wir uns in der Schnittlinie der Ebenen der Erdbahn und des Sonnenäquators befinden, also im Juni und Dezember. Sie zeigt ihre grösste Öffnung, wenn wir uns in der Linie senkrecht zur Schnittlinie befinden, also im März und September. Auf diese Weise erklärt sich also zum Teil die gute Sichtbarkeit des Zodiakallichtes im März und September und ihre Unsichtbarkeit im Juni und Dezember.

Dieselbe Perspektive bieten aber die Bahnen von Merkur und Venus. Also nimmt er auch in diesen Bahnen Zodiakalmasse an. Dabei denkt er gar nicht an andere Bahnen mit anderen Neigungen!

Er spricht sich dann noch näher über die Entstehung dieser Zodiakalmasse aus: „La Sphere des Atomes du Soleil peut former la matiere de cette l. & une tres-grande Sphere d'Atomes concentrique à la terre dans la rencontre du plan de l'Equateur du Soleil, pourroit l'arrester, la faire assembler en abondance, détourner son cours deçà & delà, & la faire paroistre plus étenduë en longueur & moins en largeur, que si elle s'étendoit librement à une moindre distance.“

Da das Zodiakallicht Farbe, Durchsichtigkeit, Stellung zur Sonne mit dem Kometenlicht gemein habe, so könne man glauben, dass die Masse von derselben Beschaffenheit sei. Dass es von einem in den Strahlen der Sonne verborgenen Kometen (!) herrühre, würde er nur dann zu behaupten wagen, wenn das Zodiakallicht sich nicht so sehr in der Breite von allen bisherigen Kometen unterscheiden würde. Beachtenswert sei es auch, dass das Zodiakallicht in derselben Gegend erscheine, in der mehrere Kometen dieses Jahrhunderts erschienen seien und die er deshalb den Zodiakus der Kometen nennt.

Er schliesst dann, dass die Materie jenseits der elementaren Sphäre, also im Äther sich befindet.

Weiter geht er von der Newton'schen Emanationstheorie aus und meint, dass die Sonne Masse von der Art dieser Lichtpartikelchen vermöge ihrer Bewegung um ihre Axe in die Ebenen des Sonnenäquators, der Merkur- und der Venusbahn werfe.

Um die Dimensionen nach Länge und Breite zu erklären, nimmt er an, dass die Masse ungefähr in der Ebene des Sonnenäquators sich befinde und über die Mitte zwischen Venus und Erde hinausgelange (siehe oben).

Wenn die Masse von derselben Art sei wie die Sonnenflecken und -fackeln, so müsse sie dieselben Variationen zeigen wie diese. In der Tat, erscheine das Zodiakallicht zu gewissen Zeiten heller, wie z. B. zur Zeit seiner Entdeckung, manchmal sei es sogar ganz unsichtbar, da es nicht immer in der Lage sei, das Licht zu reflektieren (warum?!).

Die Masse sei auch in den Bahnen der übrigen Planeten und zwar die Masse näher bei der Sonne in der Ebene des Sonnenäquators und die übrige Masse in den Bahnen der Planeten.

Es folgt hier die Hypothese von Fatio (weiter unten ex intenso mitgeteilt).

Er schreibt nun: „On le jugeroit une autre voye de lait, tant il luy ressemble. — On diroit qu'il y en a une autre formée d'une multitude innombrable de petites planétes, dont l'amas confus peut former l'apparence de la l. que nous voyons étenduë selon la longueur du Zodiaque, qui est la route ordinaire des planétes.“ Hierin kann man nur die Kenntnis der Hypothese von

Fatio erblicken. Das on diroit hat sogar auf das jugeroit gewirkt, obwohl es dort gar nicht nötig ist, denn schon ganz im Anfang seiner Abhandlung erwähnt er die Ähnlichkeit mit der Milchstrasse. Ebenso: „— ont suggeré cette pensée; la rareté des planétes connuës jusqu'à present nous rend retenus à en recevoir un aussi grand nombre qu'il seroit nécessaire — l'analogie que le sujet de cette l. pouvoit avoir avec d'autres phénomenes qui nous sont connus dans la nature."

Er kommt dann wieder auf die Kometen zu sprechen und bemerkt, dass die Kometen überall am Himmel anzutreffen seien, was beim Zodiakallicht nicht der Fall sei (siehe oben).

Dann kommt wieder die charakteristische Bemerkung: „C'est ce qui nous a obligé de considerer quelque autre phénomene qui fust déterminée à la mesme situation comme le sont les planétes dont nous avons parlé." Solche Erklärungen sind im vorderen Teile seiner Schrift, der eben vor seiner Kenntnis der Hypothese von Fatio abgefasst ist, nie zu finden!

Er erwähnt die Hypothese „la plus commune pour expliquer les taches et les facules du Soleil" und meint, dass von dieser Masse die feinere durch die Zentrifugalkraft der Rotation hinausgeschleudert werde auf eine sehr grosse Entfernung (siehe oben).

Er findet, dass „si donc l'orbite de Venus estoit visible, elle paroistroit au mois de Mars coupée inégalement par l'écliptique, de sorte que sa partie septentrionale paroistroit beaucoup, plus large que la meridionale," was auch beim Zodiakallicht zutreffe. Dagegen im September liege die Venusbahn zum grösseren Teil südlich unter der Ekliptik, während das Zodiakallicht bald gleich bald ungleich durch die Ekliptik geteilt werde. „Ainsi il faut avouër qu'elle ne fait pas presentement toutes les mesmes variations apparentes que feroit l'orbite de Venus, si elle estoit visible: quoi qu'en certains temps de l'année elle soit tres-conforme à la situation."

Zuletzt findet er es als eine beachtenswerte Tatsache, dass das Zodiakallicht gegen das Ende des Jahres 1668 seine Helligkeit verminderte, gleichzeitig mit dem Verschwinden der Sonnenflecken (siehe oben). Dies scheine die Sonnenfleckenhypothese zu stützen.

No. 16. Die Hypothese von Fatio de Duillier.

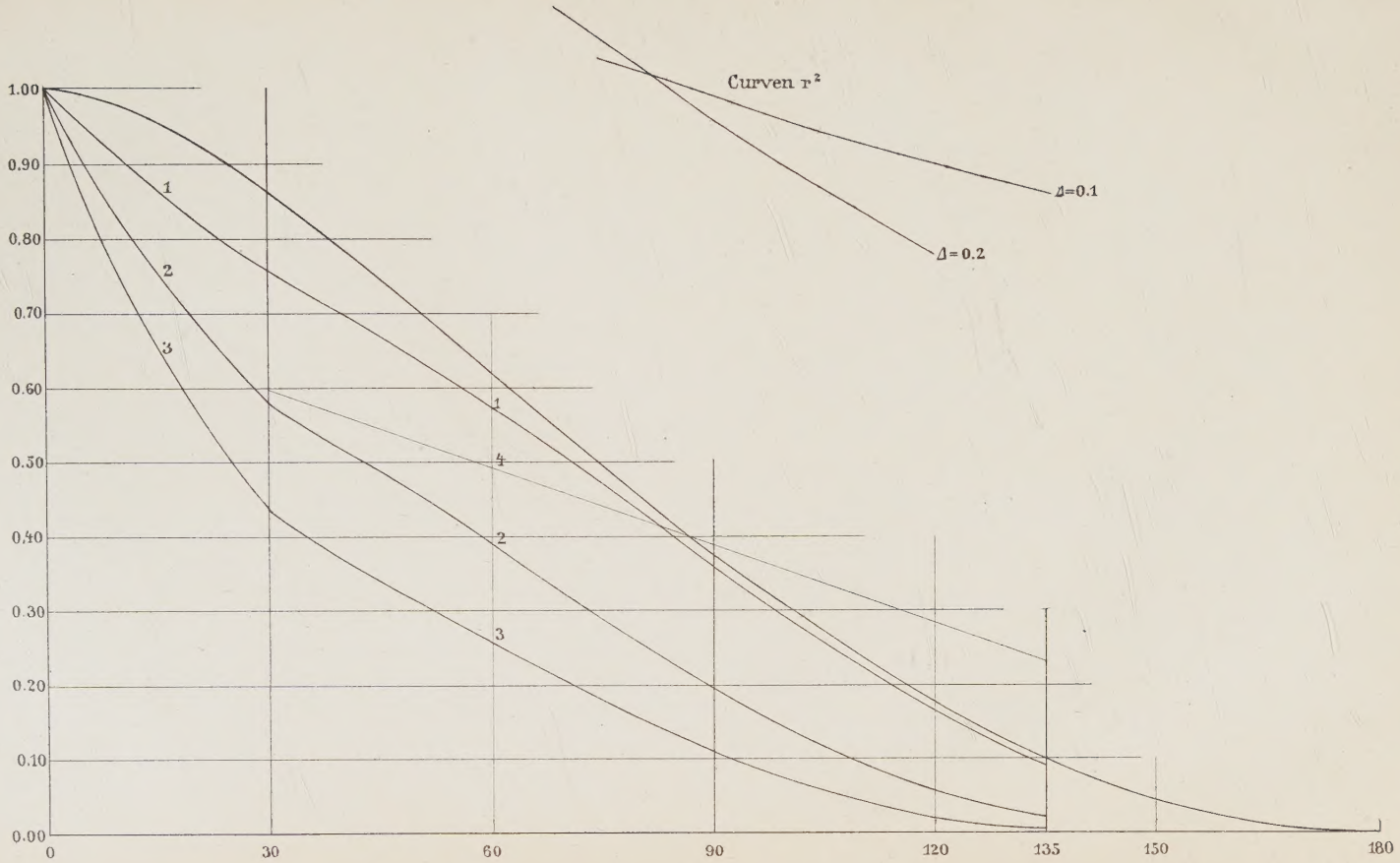
Il me communiqua (7. October 1684) l'hypothese, qu'il avait conceûë six ou sept mois auparavant. Elle a cela de commun avec ce que j'avois proposé dans le Journal de 1683, qu'il suppose dans l'Ether des particles capables de détourner, & de réfléchir la l.. Il les dispose tout autour du Soleil comme dans un Zodiaque solide, large, & irrégulier, compris entre deux surfaces courbes & ondoyantes, en sorte qu'elles puissent comprendre dans un moindre espace les orbites des planettes décrites autour du Soleil, placées à diverses distances, & inclinées diversement l'une vers l'autre. Le milieu de l'épaisseur qu'elles enferment est marqué par une surface pareillement courbe & ondoyante, qui passe par les orbites de toutes les planettes, & détermine le milieu de la l.. Les particles qui la renvoyent sont comprises dans l'orbe annuel au temps qu'elle paroist. Il leur donne un mouvement par lequel elles vont ou sont portées au tour du Soleil par des cercles entiers, avec la mesme force que les planettes mesmes. Il se réservoit pourtant à tracer la surface du milieu par les endroits qui seroient les plus commodes pour rendre raison des apparences de ce phenomene.

Lebenslauf.

Am 7. März 1875 wurde ich in Eschelbach als Sohn des Pfarrers Robert Schwend und dessen Ehefrau Lina, geb. Autenrieth, geboren. Meine Schulbildung erhielt ich in den Elementarschulen in Gelbingen und Schwäbisch Hall, sodann auf dem dortigen Gymnasium, das ich im Sommer 1894 mit dem Zeugnis der Reife verliess, um während der nächsten fünf Jahre an der Universität München mich dem Studium der Mathematik, Physik und Astronomie zu widmen. Nachdem ich 1899 in München das Lehramtsexamen für Mathematik und Physik bestanden, wurde ich 1899 als Assisent an der K. Kreisrealschule Bayreuth angestellt und 1901 nach Schweinfurt als K. Reallehrer an die dortige Realschule befördert, in welcher Stellung ich jetzt noch tätig bin.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinen hochverehrten Lehrern, den Herren Professoren Anding, G. Bauer, Bauschinger, v. Braunmühl, Döhlemann, Finsterwalder, Graetz, Lindemann, Lommel, Pringsheim, v. Seeliger für Anregung und Förderung im Kolleg und Seminar meinen ergebensten Dank auszusprechen, insbesondere Herrn Professor Dr. Ritter H. v. Seeliger, der mir die Anregung zu dieser Arbeit gab und bei der Ausführung derselben jederzeit in der liebenswürdigsten Weise mich unterstützte.

München, den 19. Juli 1904.


Curven r²
Δ=0.1
Δ=0.2
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0
30
60
90
120
135
150
180
1
2
3
1
4
2
3